

VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

SYMBOLILUETTELO

1982:145

JOSPANTO

VALUNTAMALLIN SOVELLUTUS ENNUSTE-
KÄYTTÖÖN KALA-, ÄHTÄVÄN- JA
LAPUANJOELLA

VALUNTAMALLIN KÄYTTÖ

3.1. SoLentamalli

3.2. Lom...

3.3. Maaves...

3.4. Pohjavesimalli

Bertel Vehviläinen

1982:145

VALUNTAMALLIN SOVELLUTUS ENNUSTE-
KÄYTTÖÖN KALA-, ÄHTÄVÄN- JA
LAPUANJOELLA

Bertel Vehviläinen

PAINOPAIKKA: vesihallituksen monistamo

VALUNTAMALLIN SOVELLUTUS ENNUSTE-
KÄYTTÖÖN KALA-, ÄHTÄVÄN- JA
LAPUANJOELLA

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
SYMBOLILUETTELO	4
0 JOHDANTO	5
1 VIRTAMAENNUSTEIDEN TARVE	5
2 TAVOITE	6
3 VALUNTAMALLIN RAKENNE	6
3.1 Sadantamalli	6
3.2 Lumimalli	8
3.3 Maavesimalli	10
3.4 Pohjavesimalli	11
3.5 Uomaverkosto	12
3.6 Altaat, jokijaksot	12
4 VALUNTAMALLIN KALIBROINTI	13
4.1 Hyvyyskriteerit	13
4.2 Vesistöjen osa-aluejako	14
5 MALLIN KÄYTTÖ ENNUSTETILANTEESSA	15
5.1 Varastomuuttujien alkuarvot	15
5.2 Säähavaintojen ja sääennusteen syöttö	19
5.3 Säännöstelyaltaiden käyttö	19
5.4 Tulostus	21
6 ESIMERKKI KEVÄÄLTÄ 1981	22
7 YHTEENVETO KEVÄÄN 1982 ENNUSTEISTA JA KOKEMUKSISTA	27
8 VALUNTAMALLIN PARANTAMINEN	28
KIRJALLISUUS	36
LIITE	37

SYMBOLILUETTELO:

c_0, c_1, c_2	= Muskingumin yhtälön parametrit
CAP	= nestemäisen veden osuus lumen vesi-arvosta
CPL	= vesisateen korjauskerroin
CPS	= lumisateen korjauskerroin
ESC	= haihdunta lumesta (mm/d)
EX	= eksponentti yhtälössä (3), jolla lasketaan maavesi-varastosta suotautuvan veden määrä
FROST	= lumeen pidättyneen veden takaisin lumeksi jäänyt määrä (mm/d)
GC	= pohjavesivaraston purkautumiskerroin (l/d)
GO	= pohjavesivarastosta purkautuvan veden määrä (mm/d)
GV	= pohjavesivarasto (mm)
HA	= todellinen haihdunta (mm/d)
HP	= potentiaalinen haihdunta (mm/d)
HOLDV	= lumen nestemäisen veden varasto (mm)
INF	= suodanta maavesivarastosta (mm/d)
$K = \Delta V / \Delta Q$	= varastokerroin yhtälössä (10)
KM	= lumen sulamisen astepäivätekijä (mm/d °C)
KMF	= lumen pidättämän veden jäätyamisen astepäivätekijä (mm/d °C)
KR	= vuorokauden aikana uomaverkostosta poistuvan valunnan osuus
LP	= maavesivaraston arvo, jolla todellinen haihdunta saavuttaa potentiaalisen arvon (mm)
MELT	= sulaneen lumen määrä (mm/d)
MVAK	= maavesivaraston maksimi-arvo (mm)
MVS	= maavesivarasto (mm)
P	= sadanta (mm/d)
PC	= välivaraston ja pohjavesivaraston välinen purkautumiskerroin (l/d)
PL	= vesisateen määrä (mm/vrk)
PO	= välivarastosta pohjavesivarastoon poistuva vesimäärä (mm/d)
POM	= muuttujan PO maksimi-arvo
PS	= lumisateen määrä (mm/d)
Q	= virtaama (m ³ /s)
QR	= uomaverkostosta poistuva valunta (mm/d)
R ²	= mallin hyvyyskriteeri
T	= vuorokauden keskilämpötila (°C)
TL	= vesisateen rajalämpötila (°C)
TM	= sulannan rajalämpötila (°C)
TMF	= jäätyamisen rajalämpötila (°C)
TS	= lumisateen rajalämpötila (°C)
V	= tilavuus (m ³)
VC	= välivaraston purkautumiskerroin (l/d)
VO	= välivarastosta purkautuva vesi (mm/d)
VV	= välivarasto (mm)
W	= vedenkorkeus (m)
YIELD	= sadannan ja sulannan kautta maavesivarastoon tulevan veden määrä (mm/d)

0 J O H D A N T O

Vuonna 1981 aloitetun Pohjanmaan vesistörakentamisen tutkimus- ja kehitysprojektin eräänä osana oli kehittää virtaaman ja vedenkorkeuden ennustemalleja Pohjanmaan vähäjärviden vesistöjen tulvantorjunnan avuksi. Seuraavassa esitellään ennustemallin perusosa valuntamalli, siihen oheisena liittyvä altainen juoksumuutosehtojen käsittelyä koskeva osa ja säähavaintojen syöttö. Lopussa on esitelty kevään 1981 ja 1982 ennusteet ja niiden toteutuminen Lapuan-, Ähtävän- ja Kalajoelta sekä Siikajoen Uljuan altaalta.

1 V I R T A A M A E N N U S T E I D E N T A R V E

Pohjanmaan vähäjärviden vesistöjen suuria virtaamavaihteluita tasaamaan ja niistä aiheutuneita tulvia poistamaan on rakennettu useita säännöstelyaltaita. Näiden altainen parempaan hyväksikäyttöön päästäisiin, jos altainen juoksumuutuksista päätettäessä olisi käytettävissä ennuste vesistön tulovirtaamasta riittävällä aikavälillä eteenpäin. Vesistön tulovirtaamien ennustamiseen soveltuu erinomaisesti valuntamalli, joka pyrkii jäljittämään mahdollisimman hyvin vesistön hydrologisia tapahtumia. Tulovirtaaman ennustamisen lisäksi valuntamallilla voidaan vertailla erilaisten altainen juoksumuutosehtojen paremmuutta.

Kevättulvien ennustaminen muodostaa valuntamallien keskeisimmän käyttöalueen Suomen olosuhteissa. Tärkeimmät lähtötiedot ovat lämpötilaennuste, sadantaennuste ja lumen vesiarvo ennustepäivänä. Näistä siis ainoastaan lumen vesiarvo on tiedossa ennustehetkellä. Lumen vesiarvon ja sulamiskauden keskimääräisen sadannan ja lämpötilan mukaan määritetään tulvan kokonaisvolyymi ja samalla se kuinka suuri osa tulvahuipusta pystytään leikkaamaan altaisiin. Lyhytaikaisennusteiden perusteella ratkaistaan sitten ajankohta, jolloin tulvahuipun leikkaus altaisiin aloitetaan.

Kesätulvat vahingoittavat peltojen kasvustoja parhaana kasvukautena. Kesätulvien ennustaminen ja torjuminen altainen oikealla käytöllä olisi ehkä vieläkin tärkeämpää kuin kevättulvien torjuminen. Kesätulvien ennustaminen pitkällä aikavälillä on epävarmaa, koska kesätulvan aiheuttavia sateita ei pystytä riittävällä tarkkuudella ennustamaan. Kesätulvaa ennustettaessa joudutaan toimimaan lyhyellä tähtäyksellä, eikä aikaa jää mahdolliseen altainen tyhjentämiseen tulvaa varten. Tekojärvien virkistyskäytön ja voimatalouden etujen mukaista on, että tekojärvien vedenkorkeudet pidetään kesällä mahdollisimman lähellä ylärajaa. Kesätulvien ennustamisen vaikeuksista huolimatta valuntamallia kannattaa kokeilla myös tähän tarkoitukseen.

Kesän ja talven pienet alivirtaamat aiheuttavat veden laadun huononemista. Alivirtaamienkin ennustamiseen on siten tarvetta Pohjanmaan vesistöissä. Valuntamallien avulla voidaan laatia myös alivirtaamaennusteita, koska simulointi

on joka tapauksessa ympärivuotista. Alivirtaamaennusteet ovat luonnollisesti pitemmän jakson ennusteita, jotka tehdään käyttämällä lähtötietoina pitkän jakson keskimääräisiä tai poikkeuksellisia sadannan, lämpötilan ja haihdunnan havaintosarjoja.

2 T A V O I T E

Työtä aloitettaessa tavoitteena oli soveltaa valuntamallia monialtaisen vesistön lyhyt- ja pitkäaikaisennusteiden tekoon. Lyhytaikaisennusteen lähtötietoina ovat viiden vuorokauden (lämpötilojen osalta 10 d:n) sääennusteet. Pitkäaikaisennusteiden lähtötietoina ovat aikaisempien vuosien päivittäiset lämpötila-, sadanta- ja haihdunta-aikasarjat.

Edelleen mallilta vaaditaan, että sen avulla voidaan kokeilla erilaisten juoksutusvaihtoehtojen vaikutusta tulvahuipuihin sekä selvittää altaiden optimaalista tyhjennystä ja täyttöä.

3 V A L U N T A M A L L I N R A K E N N E

Valuntamallin perustana on ruotsalainen HBV -malli. Malliin on sittemmin tehty eräitä muutoksia. Pelkän valuntamallin rinnalle on lisätty altaiden vesitasemalli ja tulva-aallon etenemisen laskemiseksi oma mallinsa. Ennustemallin perusrakenne on esitetty kuvassa 1.

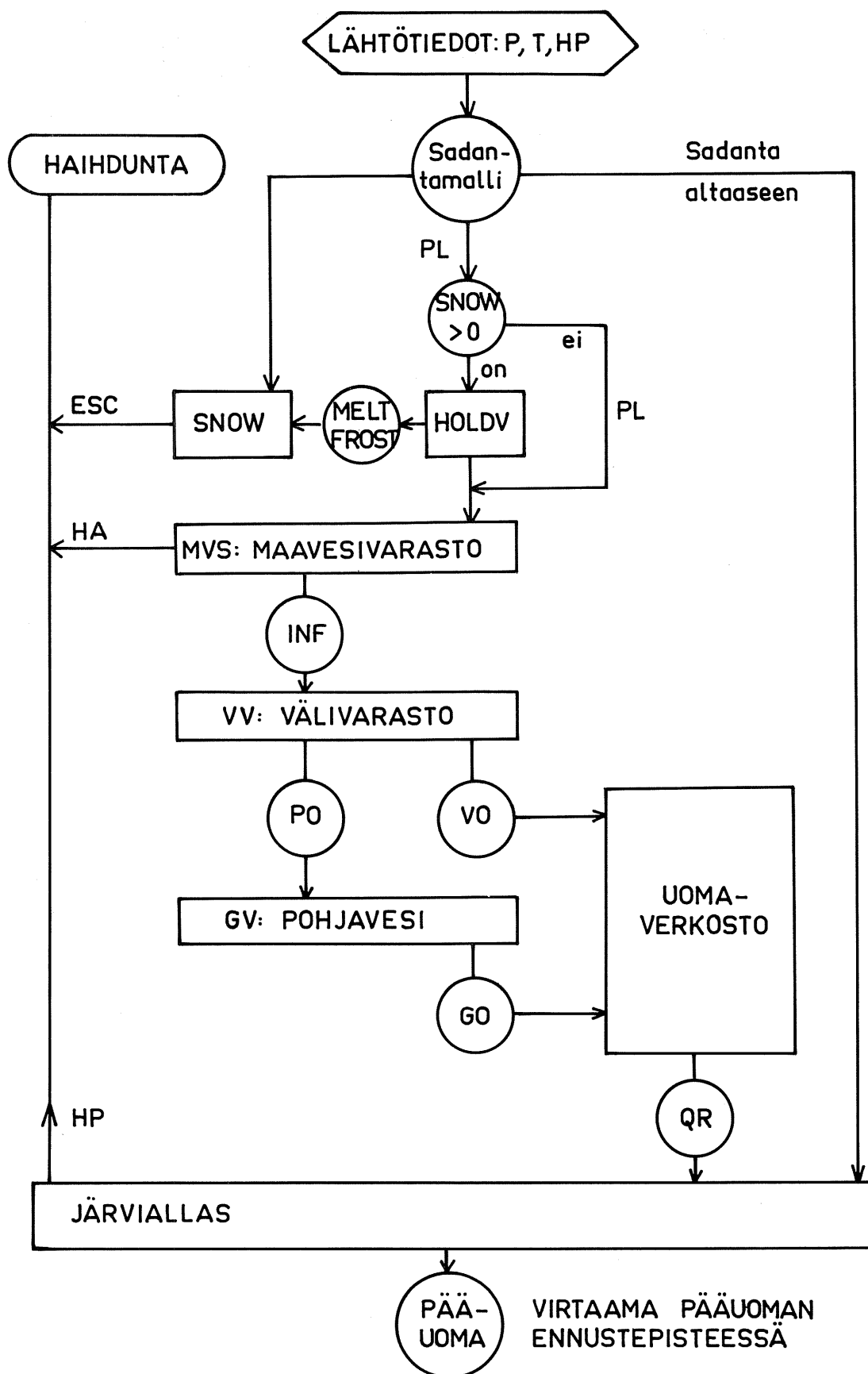
Mallin lähtötietoina ovat lämpötila, sadanta ja Class A -astian haihdunta. Viimeksi mainittua käytetään vain avovesikautena. Malli jakaa aluksi sateen lämpötilan mukaan lumi- (PS) ja vesisateeksi (PL), jonka jälkeen lumi kerääntyy lumivarastoon (SNOW) ja sulaa (MELT), jos lämpötila on riittävän korkea. Sulamisvesi ja vetenä tullut sadanta kulkeutuvat eri varastojen kautta pienten purojen uomaverkostoon ja edelleen järvioltaisiin ja pääuoman kautta mereen.

Kuvan 1 esittämä valuntamalli on pyritty kalibroimaan n. 200 - 500 km² kokoisille valuma-alueen osa-alueilla mahdollisimman tarkasti. Lapuanjoella on jouduttu käyttämään yli 1000 km² osa-alueita, koska virtaaman havaintopaikkoja ei ole ollut riittävästi.

3.1 SADANTAMALLI

Sadannan olomuodon ratkaisee mallissa vuorokauden keskilämpötila. Kun lämpötila on alle lumisateen rajalämpötilan TS, tulee sadanta lumena. Vastaavasti kun lämpötila on yli vesisateen rajalämpötila TL, tulee kaikki sadanta vetenä. Rajalämpötilojen välialueella lumi- ja vesisateen osuudet muuttuvat lineaarisesti.

Sellaisina keväinä, jolloin sulamiskautena sattuu runsaasti sateita, on rajalämpötilojen merkitys virtaamahuipun ajan-



Kuva 1. Valuntamallin rakenne.

kohdan ennustamiselle hyvinkin oleellinen. Volyymin ennustamisen kannalta ne eivät ole kovin tärkeitä.

Valuntamalleja kalibroitaessa on suurin huomio kiinnitetty kevätylivirtaamaan. Niinpä sadannan olomuodon rajalämpötilat eivät välttämättä ole parhaat mahdolliset alkutalven oloissa, jolloin nämä parametrit vaikuttavat ehkä vieläkin merkittävimmin ennusteen onnistumiseen. Lappajärven osalta on tätä ongelmaa selvitetty; vaikuttaa siltä, että parametrien TS ja TL sopivimmat arvot olisivat noin 0.3 - 0.5°C suuremmat kuin taulukossa 1 annetut arvot.

Taulukossa 1 esitettyjä sadannan olomuodon rajalämpötiloja tarkasteltaessa on myös muistettava se, että kullakin osa-alueella käytetyn lämpötila-aseman sijainti osa-alueeseen nähden vaikuttaa parametreihin. Näin ollen parametrien arvot eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Tämä selittää osittain myös sen, miksi sadannan olomuodon vaihtumisväli on eräillä alueilla varsin suuri.

Pääasiassa tuulen aiheuttamasta virheestä johtuen sadeasemien mittaamat sadannat jäävät lähes poikkeuksetta alle todellisten arvojen. Varsinkin lumisateella tuulen aiheuttama mittausvirhe on merkittävä. Malliin on käytetty vesisateen korjauskertoimena CPL 1.06 ja lumisateen korjauskertoimena CPS 1.30 (Solantie, 1976). Joillakin alueilla on jouduttu käyttämään näistä poikkeavia arvoja. Mitatut sadannat ovat tällöin olleet poikkeuksellisen epäedustavia; tosin mallin muiden lähtötietojen virheet voivat myös heijastua sadannan korjauskertoimen arvoihin.

3.2 LUMIMALLI

Lumena tullut sadanta kerääntyy kiinteän lumen varastoon SNOW. Jos sadanta tulee vetenä ja lunta on maassa, satanut vesi pidättyy lumipeitteen vesivarastoon HOLDV, jonka suuruus on parametrilla CAP ilmoitettu osuus kiinteän lumen vesiarvosta SNOW. Parametrien CAP arvo vastaa siis lumen painoprosentteina ilmoitettua vesipitoisuutta. Sen arvo on useimmissa osa-alueiden kalibroinneissa saatu välille 10 - 15 %, joka vastaa hyvin Lemmelän (1970) saamia tuloksia. Niiden mukaan sulamisvesien vapautuminen lumipeitteestä alkaa, kun lumen vesipitoisuus on 4 - 6 tilavuusprosenttia, eli painoprosentteina ilmaistuna 12 - 15 %. Kalibroinnissa parhaan tuloksen on antanut mallirakenne, jossa parametrien CAP arvo pienenee noin puoleen alkuarvosta sulannan edistyessä. Taulukossa 1 on ilmoitettu parametrin CAP keskiarvot sulamiskaudella.

Kiinteän (SNOW) ja nestemäisen (HOLDV) lumen varastojen välillä tapahtuu vaihtoa sulamisen (MELT) ja jäätyamisen (FROST) kautta.

Lumen sulanta ja jäätyminen ovat suoraan verrannollisia vuorokauden keskilämpötilaan (T):

$$\text{MELT} = \text{KM} \cdot (T - \text{TM})$$

$$\text{FROST} = \text{KMF} \cdot (\text{TMF} - T)$$

Taulukko 1. Parhaat parametriarvot eri osa-alueille. Vastaavat osa-alueet on esitetty kuvissa 2 - 4.

Alueen nimi	Pinta- ala km ²	R ²	TS	TL	CPL	CPL	TM	KM	CAP	EX	MVAK	LP	VC	GC	PC	POM
KALAJOKI																
Reis- ja Vuohojärvi	372	0,75	-2,4	2,9	1,20	1,07	0,0	2,8	0,07	2,6	110	50	0,11	0,033	0,17	7,0
Hautaperä	589	0,84	-2,0	3,2	1,30	1,06	0,0	2,7	0,09	2,6	120	130	0,16	0,058	0,05	3,0
Settijärvi	193	0,56	-2,2	3,5	1,30	1,06	0,1	2,4	0,09	2,2	120	100	0,15	0,050	1,0	1,6
Haapajärvi	294	0,54	-2,2	3,5	1,30	1,06	0,1	2,3	0,10	2,9	60	40	0,28	0,10	1,0	1,6
Pidisjärvi	754	0,47	-2,0	3,5	1,20	1,04	0,1	2,5	0,09	2,5	60	60	0,25	0,10	1,0	1,5
Niskakoski	865	0,95	-2,0	3,5	1,35	1,14	0,2	2,7	0,09	1,5	25	35	0,22	0,25	1,0	1,0
ÄHTÄVÄNJOKI																
Alajärvi	478	0,69	-4,2	2,8	1,30	1,06	-0,3	2,2	0,09	2,0	90	60	0,14	0,033	0,08	7,0
Lappajärvi	1052	0,43	-4,2	3,0	1,30	1,06	-0,1	2,2	0,07	1,8	120	110	0,18	0,050	0,08	6,0
Evijärvi	175	0,43	-2,0	3,0	1,30	1,06	0,1	2,4	0,11	1,6	90	60	0,12	0,040	0,20	3,0
LAPUANJOKI																
Kuorasjärvi	249	0,44	-6,0	1,5	1,30	1,06	-0,2	2,6	0,06	2,3	100	80	0,18	0,040	0,06	4,0
Hirvijärvi	385	0,43	-3,0	1,5	1,30	1,06	-0,3	2,5	0,06	2,3	90	40	0,25	0,080	0,08	3,0
Kuortane	1652	0,72	-3,0	1,5	1,30	1,06	-0,2	2,5	0,06	2,8	90	80	0,11	0,040	0,09	3,0
Pappilankari	1444	0,86	-2,6	2,1	1,32	1,07	-0,2	2,5	0,06	2,8	80	70	0,20	0,10	0,01	1,0

Kun keskilämpötila ylittää raja-arvon T_M , sulaa lunta yhtä lämpötila-astetta kohti parametrin K_M osoittama määrä milleinä. Parhaan tuloksen kalibroinneissa on antanut mallirakenne, jossa parametrin K_M arvo kasvaa sulannan edistyesä. Astepäivätekijän K_M arvon kasvu sulannan aikana johtuu lumen fysikaalisten ominaisuuksien muuttumisesta. Esimerkiksi lumen albedo pienenee voimakkaasti lumipeitteen vanhetessa. Vastaavaa mallirakennetta on käyttänyt myös Bergström (1975). Astepäivätekijän eri alueiden kalibroinneissa saadut arvot on esitetty taulukossa 1. Astepäivätekijän vaihtelu eri alueiden välillä on suhteellisen pientä ja sen keskimääräinen arvo on $2,5 \text{ mm/}^\circ\text{C} \cdot \text{d}$. Sulannan raja-lämpötila T_M on kaikilla alueilla lähellä 0°C .

Jos kesken sulantakauden pakastaa, sulanta loppuu ja lumipeitteeseen varastoitunutta vettä jäätyy takaisin kiinteän lumen varastoon. Jäätymistä kuvaava prosessi on mallissa samanlainen kuin sulamisprosessi. Jäätyminen alkaa, kun lämpötila laskee rajalämpötilan T_{MF} alle. Jäätymistä tapahtuu yhtä pakkasastetta kohti parametrin K_{MF} osoittama määrä milleinä.

Sulannan ja jäätymisen rajalämpötiloihin vaikuttaa lämpötila-aseman sijainti samoin kuin sadannan olomuodon vaihtettumislämpötiloihin. Näin ollen ne eivät ole täysin vertailukelpoisia.

Sulantamallin parametreista on myös todettava, että ne ovat parhaimmat juuri kevätsulannalle. Alkutilven aikana parametrien optimiarvot ovat ilmeisesti erilaiset. Rajalämpötila T_M voi olla annettuja arvoja muutaman kymmenesosa-asteen alhaisempi. Tämä johtuu mm. siitä, että alkutilven ensilumet satavat usein sulaan maahan, jolloin maasta johutuva lämpö sulattaa lumen, vaikka vuorokauden keskilämpötila olisi alle sulannan rajalämpötilan T_M .

Uusimmissa mallirakenteissa on otettu myös huomioon lumen peittämän alan pieneneminen sulannan edistyessä, varsinkin sen loppuvaiheessa, pienentämällä päivittäin sulaneen lumen määrää suhteessa lumesta paljastuneeseen alaan.

3.3 MAAVESIMALLI

Lumivaraston kautta tullut vesi joutuu ensin painannevarastoon SV. Se on lyhytaikainen pieni varasto, joka on sisällytetty malliin lähinnä vähälumisten keväiden liian nopean valuntahuipun vuoksi. Painannevarastosta tuleva vesi ja ke-sällä satava vesi joutuvat suoraan maavesivarastoon MVS. Kuten kuvasta 1 ilmenee, maavesivarastosta ei synny valuntaa uomaverkostoon, vaan vesi jää osaksi varastoon, osaksi suotautuu ja osaksi haihtuu.

Suotautuva osuus maavesivarastoon tulevasta vedestä YIELD on verrannollinen varaston tilavuuteen. Kun maavesivaraston maksimitilavuus on $MVAK$, saadaan suotautuva vesimäärä INF lausekkeesta:

$$INF = YIELD \cdot \frac{MVS^{EX}}{MVAK} \quad (3)$$

jossa EX on eksponentti. Kun maavesivarasto saavuttaa arvon MVAK, suotautuu kaikki tuleva vesi alempiin varastoihin.

Maavesivaraston maksimi-arvo on kalibroiduilla alueilla ollut 100 mm molemmin puolin. Eksponentin EX arvo on n. 2.5. Mitä suurempi eksponentin arvo on, sitä hitaammin suodanta alkaa; loppua kohti se voimistuu maavesivaraston täyttyessä.

Maavesivaraston vuotuinen kulku on hyvin selväpiirteinen. Kesällä se saavuttaa minimin, joka on 10 - 40 % maksimi-arvosta kesän kuivuudesta riippuen. Syksyllä maavesivaraston arvo nousee voimakkaasti lähelle maksimia, missä se pysyttelee loppukevääseen asti, koska haihduntaa ei tapahdu, eikä maavesivarastosta MVS purkaudu vettä uomaverkostoon eikä alempiin varastoihin.

Maavesivarastosta tapahtuva haihdunta HA on suoraan verrannollinen maavesivaraston suuruuteen:

$$HA = HP \cdot \frac{MVS}{LP} \quad (4)$$

HP on Class A -astian haihdunta ja vakio LP on se maavesivaraston raja-arvo, jonka jälkeen haihdunta on yhtä kuin potentiaalinen haihdunta HP. Parametrin LP arvot ovat yleensä muutaman kymmenen milliä pienempiä kuin maavesivaraston maksimi-arvo (taulukko 1).

3.4 POHJAVESIMALLI

Maavesivaraston läpi suotautunut vesi joutuu välivarastoon VV. Se ei varsinaisesti kuulu vielä pohjavesimalliin, mutta se on toiminnaltaan pohjavesivaraston tyyppinen ja se vaikuttaa pohjavesivaraston kertymiseen.

Välivarasto on hyvin nopea varasto, jossa vesi viipyy huippuvalumien aikaanakin yleensä alle 10 vuorokautta. Kuivempina kausina välivarasto on tyhjä.

Välivarasto purkautuu kahta reittiä; osa vedestä (VO) menee valuntana uomaverkkoon ja osa (PO) suotautuu pohjavesivarastoon:

$$VO = VC \cdot VV \quad (5)$$

$$PO = PC \cdot VV \quad (6)$$

Uomaverkostoon menevän osan purkautumiskerroin vaihtelee välillä 0.11 - 0.25 ja pohjaveteen menevän osan purkautumiskerroin välillä 0.05 - 1.00. Rajoituksena kuitenkin on, että PO ei voi ylittää maksimi-arvoa POM, joka on 1,6 - 7.0 mm/vrk, taulukko 1.

Pohjavesivarasto GV purkautuu uomaverkostoon. Sen purkautumiskertoimen GV arvot ovat välillä 0.033 - 0.25 eri alueilla. Mitä suurempi pohjavesivaraston purkautumiskerroin on, sitä nopeammin pohjavesivarasto tyhjenee.

Pohjaveden poikkeuksellisen suuret purkautumiskertoimet Kalajoen alaosan osa-alueilla johtuvat aivan ilmeisesti siitä, että pohjaveden merkitys kokonaisvirtaamiin näillä osa-alueilla on vähävetisinä kausina pieni. Vain suurten sateiden ja lumen sulamisen aikana alempien osa-alueiden valunnat tulevat näkyviin virtaaman kasvamisena. Muulloin alempien osa-alueiden suhteellinen vaikutus on niin pieni, että se helposti peittyy virtamaahavaintojen virheiden alle.

3.5 UOMAVERKOSTO

Valuntamallissa on pyritty myös määrittämään se viive, mikä aiheutuu valuntavesien kerääntymisestä pieniä puroja ja jokia pitkin havaintopisteeseen. Parametrilla KR arvioidaan kuinka suuri osa samana päivänä syntyvästä valunnasta (= VO + GO) joutuu järvioltaisiin tai pääuoman havaintopisteeseen:

$$QR_i = KR \cdot (VO + GO) + (1 - KR) \cdot QR_{i-1} \quad (7)$$

Parametrin KR arvo vaihtelee välillä 0.6 - 1.0. QR on uoma-verkostosta poistuva vesimäärä.

3.6 ALTAAT JA JOKIJAKSOT

Säännöstelyaltaiden käyttö mallissa perustuu altainen vesitaseyhtälöön:

$$\Delta V = (QIN - QOUT) + (P - HP) \quad (8)$$

ΔV = tilavuuden muutos
 QIN = altaan tulovirtaama
 $QOUT$ = altaan juoksutus
 P = sadanta altaaseen
 HP = haihdunta altaasta

Altaan tulovirtaama on yhtä kuin altaan välittömältä valuma-alueelta tuleva virtaama QR lisättynä mahdolliselta yläpuoliselta alueelta tulevalla virtaamalla. Altaan juoksutus on mallille annettu arvo.

Pääuoman virtaaman viipymä otetaan huomioon vasta silloin, kun virtaamahuipun viipymä tietyllä osa-alueella pääuomassa on käytetyn aika-askeleen (1 vrk.) luokkaa. Tällainen tilanne tulee esimerkiksi Kalajoella eteen vasta välillä Padinki-Niskakoski. Tulva-aallon etenemistä on simuloitu Muskingumin mallilla:

$$QOUT_i = c_0 QIN_i + c_1 QIN_{i-1} + c_2 QOUT_{i-1} \quad (9)$$

$QOUT$ = jokijakson lähtövirtaama
 QIN = jokijakson tulovirtaama
 c_0, c_1 ja c_2 = mallin parametrit, joiden summa on yksi

Lapuanjoella Liinamaan kohdalla ajoittain syntyvän tulva-

alueen mallittamiseen on käytetty seuraavanlaista menetelmää:

$$Q_{OUT_i} = Q_{OUT_{i-1}} + \Delta Q_{IN} \cdot (1 + K)^{-1} \cdot \Delta t \quad (10)$$

Q_{OUT} = tulva-alueen lähtövirtaama

ΔQ_{IN} = tulva-alueen tulovirtaaman muutos laskentavälillä

K = tulva-alueen varastokerroin, joka on tulva-alueen tilavuuden ja virtaaman muutoksen suhde:

$$K = \Delta V / \Delta Q$$

Δt = laskentavälin pituus

Tulva-alueen tulovirtaaman ja lähtövirtaaman erotuksesta saadaan tulva-alueen pinta-ala. Muitakin menetelmiä on kehitetty, mutta edellä kuvattu vaikuttaa sopivimmalta. Sen vaatima lähtöaineisto on suppea ja laskenta on nopea ja yksinkertainen.

4. VALUNTAMALLIN KALIBROINTI

4.1 HYVYYSKRITEERIT

Valuntamalla kalibroitaessa on käytetty seuraavaa hyvyyskriteeriä:

$$R^2 = \frac{F_o^2 - F^2}{F_o^2} \quad (11a)$$

$$F_o^2 = (Q_T - \bar{Q}_T)^2 \quad (11b)$$

$$F^2 = (Q_T - Q_L)^2 \quad (11c)$$

\bar{Q}_T = havaittu tulovirtaama

Q_T = havaitun tulovirtaaman keskiarvo

Q_L = laskettu tulovirtaama

Tällä tavoin valittu hyvyyskriteeri korostaa virtaamahuippujen vaikutusta hyvyyskriteerin arvoon, mikä sopii hyvin näiden ennustemallien käyttöä ajatellen. Hyvyyskriteerin paras mahdollinen arvo on +1.0. Sen arvot vaihtelevat kalibroituilla vesistöalueilla 0.43 - 0.95 (taulukko 1). Hyvyyskriteerin suuri vaihtelu johtuu muiden tekijöiden ohella havaitun tulovirtaaman tarkkuuden vaihteluista. Kun alueen tulovirtaama lasketaan palautuslaskelmilla altaan/järven vedenkorkeusarvoista (ja juoksutuksista), huononee havaitun tulovirtaaman (Q_T) tarkkuus ja hyvyyskriteeri pienenee usein huomattavasti. Tästä on esimerkki kuvassa 7; siinä näkyvä Lappajärven tulovirtaaman vaihtelu sisältää tällaisen, 10 - 20 m³/s suuruisen satunnaiskomponentin.

Toinen kriteeri, jonka perusteella mallin hyvyttä on seurattu, on havaitun ja lasketun tulovirtaaman erotuksien summa:

$$\text{ACCDIF} = \sum (Q_T - Q_L) \quad (12)$$

Tämä summa on pyritty pitämään kalibroitaessa mahdollisimman lähellä nollaa, jolloin laskettujen ja havaittujen virtaamien kokonaisvolyymit pysyvät mahdollisimman samansuuruisina.

Kalibroinnin kaikissa vaiheissa on myös tarkasteltu havaittuja ja laskettuja virtaamasarjoja piirrettyinä käyriä. Varsinkin kalibroinnin loppuvaiheessa on luotettu enemmän graafiseen tarkasteluun ja valittu se mallin parametri-kombinaatio, joka on antanut parhaan tuloksen virtaamahuipujen simuloinnissa.

4.2 VESISTÖJEN OSA-ALUEJAKO

Kukin mallitettava vesistöalue jaettiin useampaan osa-alueeseen, joille jokaiselle malli kalibroitiin erikseen. Osa-alueiden optimikoko lienee 200 - 500 km², mutta suurempiakin osa-alueita on jouduttu käyttämään. Yli 1000 km² kokoiset alueet ovat liian suuria yhdellä kertaa mallitettaviksi, koska alueen eri osissa sadanta-, sulanta- ja valuntaprosessit tapahtuvat eri tavoin.

Kuvissa 2, 3 ja 4 on esitetty Kala-, Ähtävän- ja Lapuanjoen osa-aluejaot. Kalajoella Malisjoelle tehtävä osamalli saattaisi parantaa ennusteita. Malisjoelta ei ole tällä hetkellä saatavissa tarvittavia virtaamahavaintoja. Lapuanjoella Kauhavanjoen virtaaman havaitseminen olisi tarpeellista sen mallittamiseksi. Lapuanjoen pohjoishaarasta on Töysänjoen virtaamahavainnot aloitettu vuonna 1981, joten havaintosarja on vielä liian lyhyt mallin kalibroimiseksi.

Taulukosta 1 käy myös selville eri osa-alueiden mallien hyvyyskriteerit. Suurin osa malleista on jouduttu kalibroimaan palautuslaskelmilla määritettyihin altaan tulovirtaamiin. Tällöin hyvyyskriteerin arvo on jäänyt huonoksi. Näin on mm. Ähtävänjoella, jossa suurten järvien pinnan heilahtelut aiheuttavat epämääräisyyttä havaittuihin tulovirtaamiin. Tämä käy esille mm. kuvasta 7, jossa on esitetty kevään 1981 havaittu ja simuloitu Lappajärven lähivaluma-alueen tulovirtaama.

Ennustemallin kalibroinnin onnistumisessa vaikuttaa luonnollisesti kaikkien lähtöarvojen tarkkuus. Sadannan, haihdunnan ja virtaaman vuorokausiarvojen virhe lienee usein ainakin ± 10 %; tällöin havaintoja voidaan vielä pitää hyvinä. Joillakin alueilla voi virtaaman havaintovirhe olla paljon suurempikin, eikä aluesadannan tai haihtumisindeksinkään luotettavuus aina ole tyydyttävä.

Kaikilla alueilla kalibrointijakso on ulottunut kesästä 1976 kesään 1981. Useilla alueilla kalibrointijaksoa ei ole voitu pidentää vesistöissä tapahtuneiden muutosten vuoksi, vaikka tilastolliselta kannalta pitempi kalibrointijakso olisi suositeltava.

5. MALLIN KÄYTTÖ ENNUSTETILANTEESSA

5.1 VARASTOMUUTTUIJEN ALKUARVOT

Mallia käyttöön otettaessa on kaikille varastomuuttujille annettava alkuarvot. Tämän vuoksi laskenta on aloitettava siten, että alkuarvojen arviointi on mahdollisimman luotettavaa. Edullisimmat lähtötilanteet ovat talven ja kesän alivirtaamakaudet.

Alkuarvo on annettava seuraaville varastomuuttujille:

1. Lumen vesiarvo SNOW: kesällä se on luonnollisesti nol-la ja talvella lumilinjamittauksista saatu arvo. Jos laskentaa on jatkettu edellisestä kesästä talveen saakka, käytetään mieluummin mallin laskemaa lumen vesiarvoa, ellei selvästi laskettuja ja havaittuja virtaamia verrattaessa havaita mallin sulannan alkutalvella olleen väärän. Korjaus tehdään mallin lumen vesiarvoon vain tältä osin.

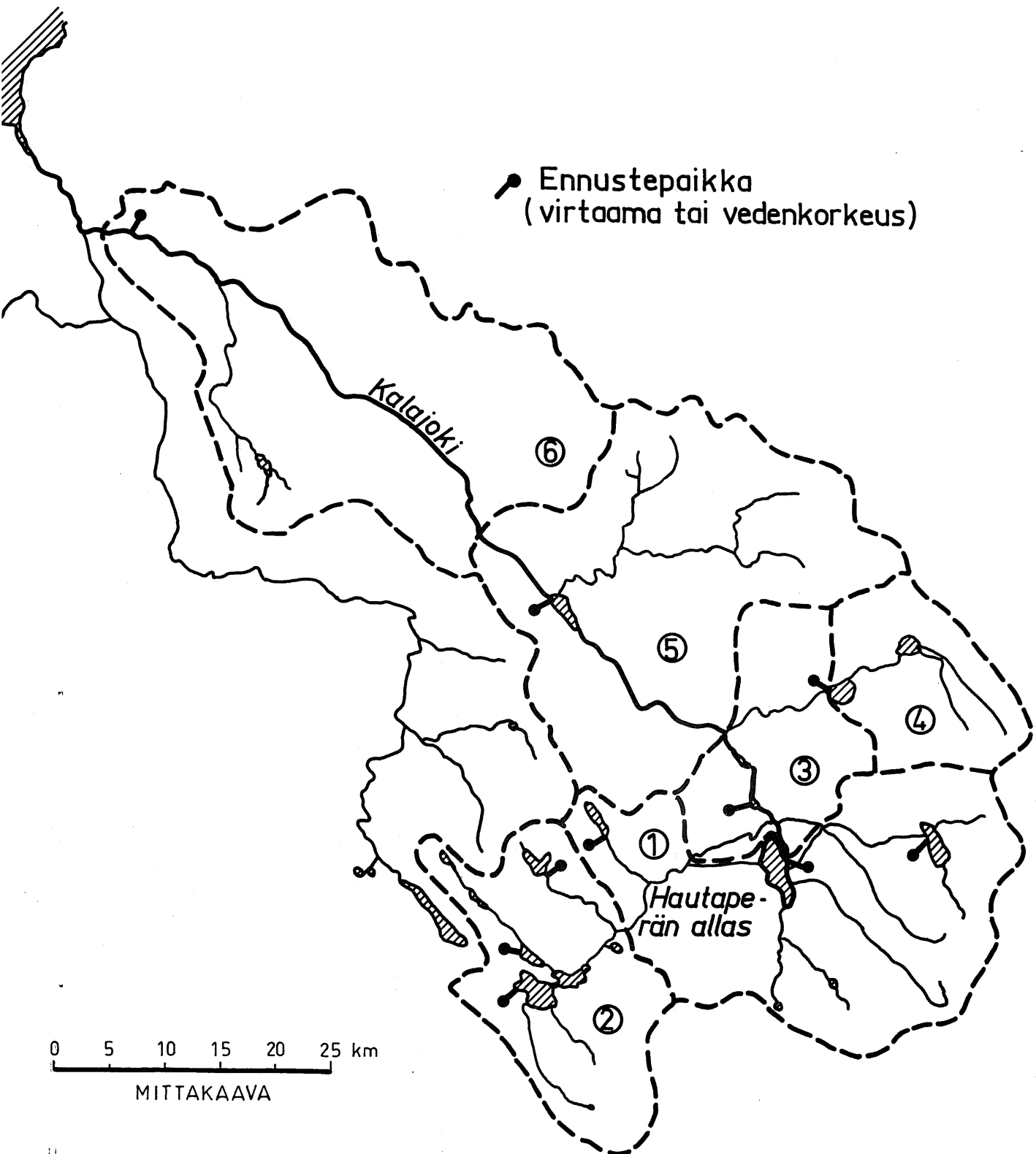
Muut lumimallin varastotermit asetetaan nolliksi normaalissa ennen kevään sulantakautta aloitettavassa laskennassa: Nestemäisen veden varasto HOLDV, painannevarasto SV, kumuloituvan sulannan termi SMELT.

2. Maavesivarasto MVS: maavesivaraston arvo lähenee syksyllä maksimiarvoaan MVAK ja pysyy siinä kevääseen saakka. Ennen sulantakautta kevättalvella maavesivaraston sopiva alkuarvo on 80 - 90 % maksimiarvosta. Kesällä alivirtaamakaudella maavesivaraston alkuarvoksi voidaan kesän sateisuudesta riippuen arvioida 10 - 30 % varaston maksimiarvosta.
3. Väliavarasto VV: Väliavaraston arvo voidaan kaikissa järkevissä lähtötilanteissa asettaa nolliksi. Väliavaraston vaihteluväli on tavallisesti 0 - 30 mm.
4. Pohjavesivarasto GV: Pohjavesivaraston alkuarvon valinta ei ole kovin kriittinen laskennan onnistumisen kannalta, koska sen vaikutus ylivalumiin on pieni. Alivirtaamakausina sopiva lähtöarvo on 5 - 20 mm.

Laskennan onnistumisen kannalta ehdottomasti ratkaisevin on lumen vesiarvon alkuarvo kevätylivalumia ja maavesivaraston alkuarvo kesäylivalumia ennustettaessa.

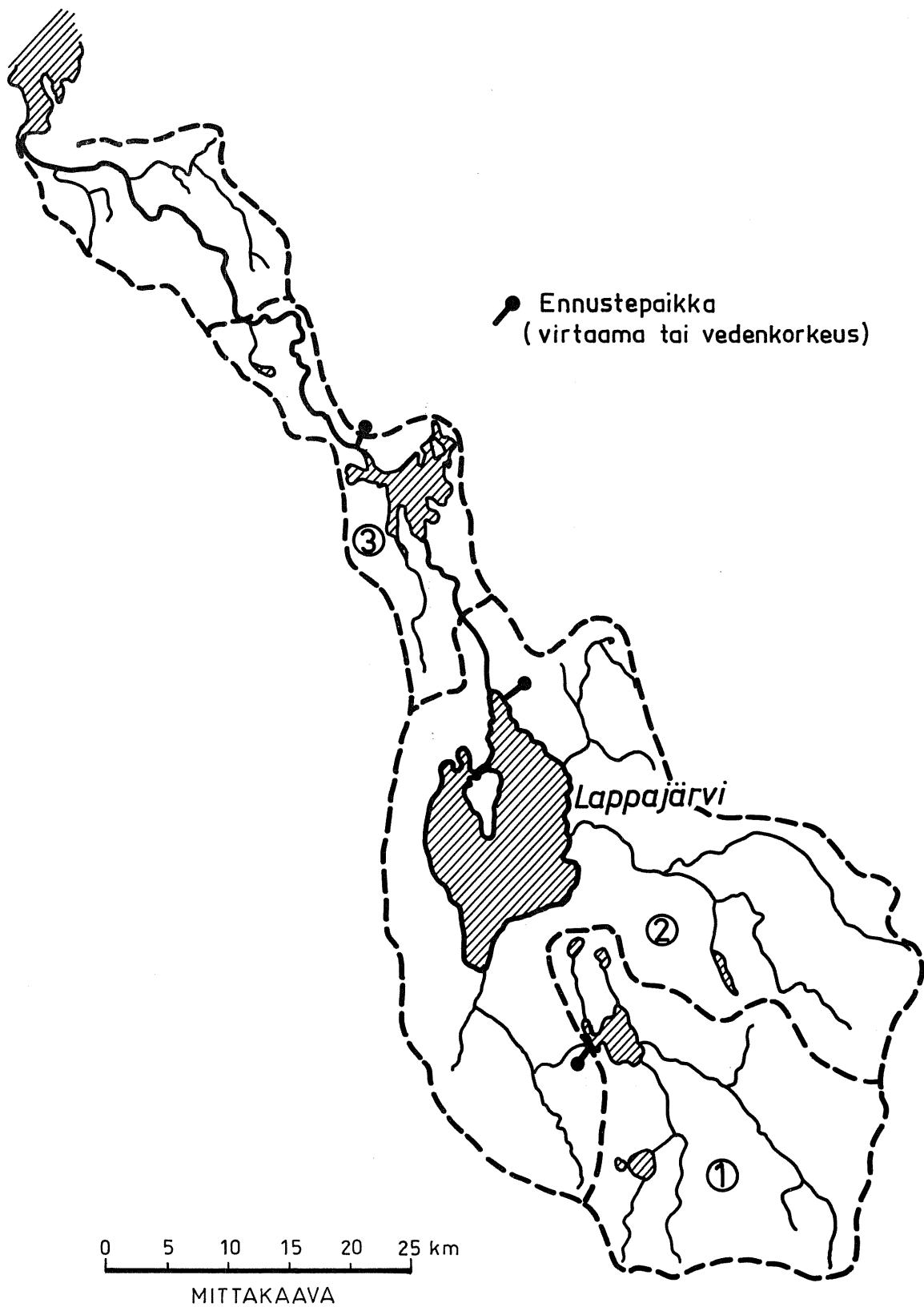
Luonnollisesti kaikille mallissa mukana oleville säännöstelyalustoille on annettava vedenkorkeuden alkuarvo.

Kaikki edellä luetellut varastomuuttujien alkuarvot annetaan suoraan ohjelmarakenteeseen. Ne voidaan myös antaa ajon aikana päätteeltä, mutta koska ajoja tehdään yleensä runsaasti, säästää alkuarvojen antaminen ensin mainitulla tavalla ohjelman ajoaika.



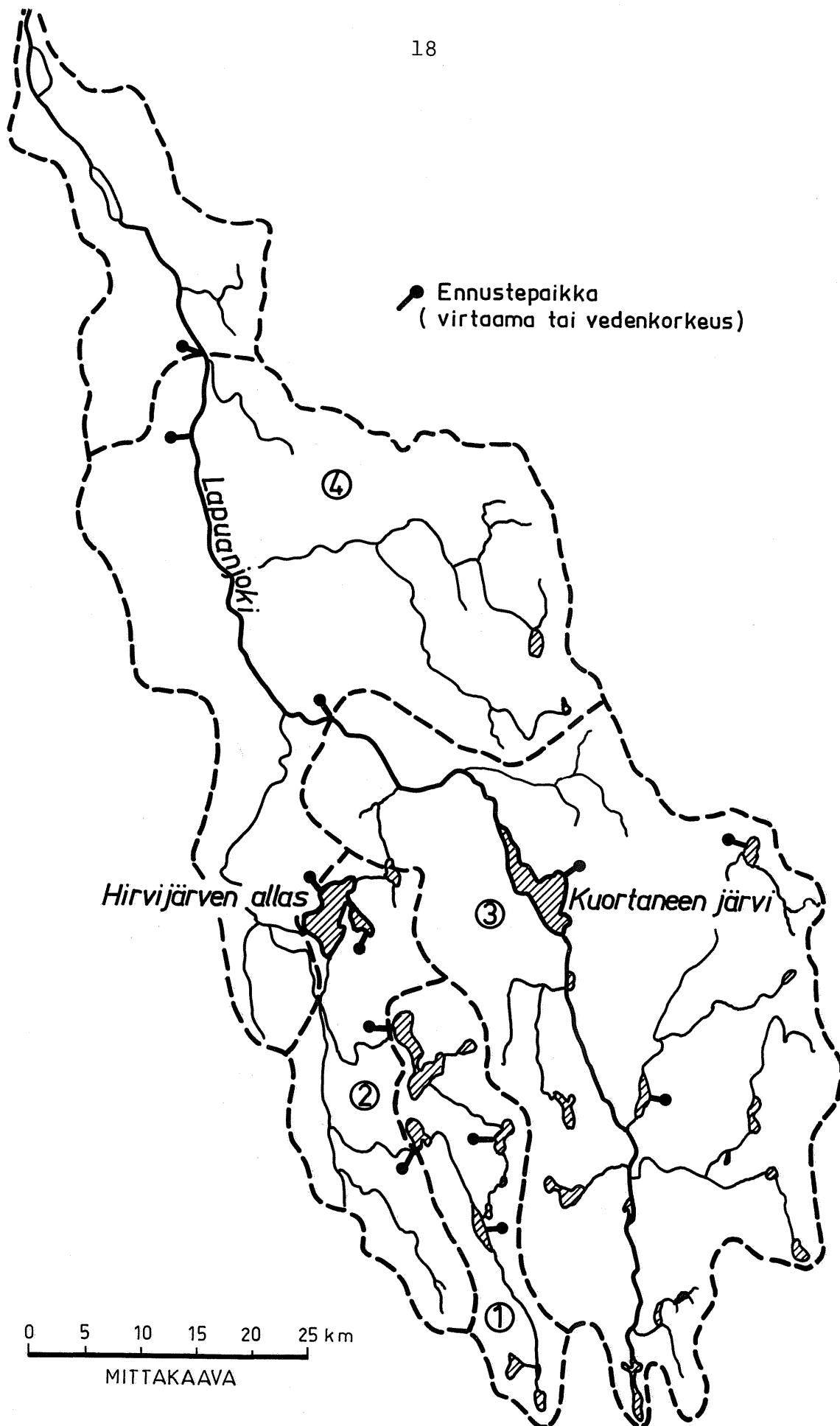
Kuva 2. Valuntamallin osa-aluejako Kalajoen vesistöalueella.

1. Hautaperän alue	589 km ²
2. Reis-Vuhtojärven alue	372 "
3. Haapajärven alue	294 "
4. Settijärven alue	193 "
5. Pidisjärven alue	754 "
6. Niskakosken alue	865 "



Kuva 3. Valuntamallin osa-aluejako Ähtävänjoen vesistöalueella.

1. Alajärven alue	478 km ²
2. Lappajärven alue	1 052 "
3. Evijärven alue	175 "



Kuva 4. Valuntamallin osa-aluejako Lapuanjoen alueella.

1. Kuorasjärven alue	249 km ²
2. Hirvijärven alue	385 "
3. Kuortaneenjärven alue	1 652 "
4. Pappilankarin alue	1 444 "

5.2 SÄÄHAVAINTOJEN JA SÄÄENNUSTEEN SYÖTTÖ

Valuntaennustetta tehtäessä ennustetun arvon rinnalle saadaan päivittäin havaittu arvo. Niinpä ennustejaksossa on hyvä käyttää päätiedostoa, johon sisältyvät havaitut arvot. Ennustetiedot annetaan ajon aikana päätteeltä. Näin tehtäessä malli lukee päätiedostosta edellisten päivien havainnot ja laskee niiden perusteella valunnat. Nyt voidaan verrata, kuinka hyvin malli on simuloitunut todellinta valuntaa edeltävinä päivinä. Tämä antaa tietoa siitä, kuinka hyvä ennusteen osuvuus voi olla seuraavina päivinä.

Päätiedostossa on hyvä olla myös päivittäiset arvot kaikista säännöstelyaltaiden vedenkorkeuksista ja juoksutuksista havaittujen ja laskettujen arvojen vertaamiseksi ajon aikana.

Päätiedosto sisältää siis ennustetta edeltävien päivien osalta seuraavat tiedot: päivämäärä, lämpötila, sadanta, haihdunta, altaiden vedenkorkeudet, altaidet juoksutukset ja virtaamat virtaaman ennustepisteistä (esim. Niskakoski).

Lyhytaikaisennustetta ajettaessa ohjelma ottaa käyttöönsä päätiedoston käsiteltyään 5 - 10 vrk sääennusteen, joka annetaan taulukkona ennen ajoa tai suoraan päätteeltä ajon aikana ohjelmaan sisällytettyjen ohjeiden mukaan. Ennusteen pituus voi olla 1 - 10 vuorokautta. Ennusteessa annetaan seuraavat tiedot: päivämäärä, lämpötila, sadanta ja haihdunta kultakin ennustepäivältä.

Ajo voidaan aina uusia ja antaa päätteeltä uudet ennustetiedot.

Jos halutaan ajaa pitkäaikaisennuste eri vuosien vanhoilla säätiedoilla, ennustejoa jatketaan lukemalla ko. tiedostosta ohjelmalle nämä tiedot. Tämä käy helposti lisäämällä tiedostoa koskeva lukukäsky ohjelmaan.

5.3 SÄÄNNÖSTELYALTAIDEN KÄYTTÖ

Mallitettavan vesistöalueen jokaiselle säännöstelyaltaalle tulee antaa säännöstelyohje ennustejaksoa varten. Minimivaatimuksena on vähintään kahdelle ns. taitepäivälle annetut altaan vedenkorkeutta ja juoksutusta koskevat tiedot. Ensimmäiselle ohjeen taitepäivälle riittää tämän päivän haluttu maksimi- ja minimivedenkorkeus. Toiselle taitepäivälle annetaan ne vedenkorkeuden maksimi- ja minimiarvot, jotka halutaan toteutuvan tuona päivänä, maksimi- ja minimijuoksutus, joita ei saa rikkoa säännöstelyjaksolla sekä optimijuoksutus, jolla annetut vedenkorkeusarvot oletetaan saavutettavan.

Ohjelma toimii siten, että se ehdottaa altaan juoksutukseksi optimijuoksutusta. Tämä arvo kelpaa, jos altaan pinta lähestyy riittävän nopeasti seuraavan taitepäivän vedenkorkeusarvoja. Jos näin ei käy ohjelma lisää tai vähentää juoksutusta annettujen maksimi- ja minimijuoksutusarvojen puitteissa.

Seuraavana muutama esimerkki säännöstelyohjeen käytöstä:

1. Altaan vedenkorkeus 15.3. on 140.00 cm ja se halutaan laskea arvoon 130.00 16.4. mennessä. Juoksutus ei saa ylittää arvoa 10 m³/s, optimijuoksutus on 5 m³/s.

Ohje	W _{max}	W _{min}	Q _{max}	Q _{min}	Q _{opt}
160381	140.00	130.00			
169481	130.00	130.00	10	0	5

2. Edelliseen esimerkkiin muutos, ettei vedenkorkeus saa laskea alle 135.00 ennen 1.4.1981.

Ohje	W _{max}	W _{min}	Q _{max}	Q _{min}	Q _{opt}
160381	140.00	135.00			
010481	135.00	135.00	10	0	5
160381	130.00	130.00	10	0	5

3. Allas saa täyttyä 160481 jälkeen ylärajalleen. Minimijuoksutus 5 m³/s.

Ohje	W _{max}	W _{min}	Q _{max}	Q _{min}	Q _{opt}
160481	130.00	130.00			
170481	140.00	130.00	10	5	5

4. Allas pidetään absoluuttisella ylärajallaan 140.00 1.6.1981 alkaen.

Ohje	W _{max}	W _{min}	Q _{max}	Q _{min}	Q _{opt}
170481	140.00	130.00			
310581	140.00	130.00	10	5	5
010681	140.00	140.00	0	0	0

Kun allas saavuttaa ylärajan, juoksutus on luonnollisesti yhtä kuin altaan tulovirtaama 1.6.1981 alkaen.

Säännöstelyohjeen taitepäivien lukumäärä voi olla korkeintaan 12. Lukumäärää voidaan haluttaessa lisätä määrittelemällä ohjelmassa säännöstelyohjeen taulukko suuremmaksi.

Kohteen 2 - 4 yhdistetty säännöstelyohje on seuraava:

160381	140.00	135.00			
010481	135.00	135.00	10	0	5
160481	130.00	130.00	10	0	5
170481	140.00	130.00	10	5	5
310581	140.00	130.00	10	5	5
010681	140.00	140.00	0	0	0

Juoksutusohje voidaan antaa kiinteänä koko sulantakauden ajaksi tiedostoon, jolloin se tulee automaattisesti mukaan jokaisessa ajossa. Säännöstelyohje toimii vain ennustejaksolla, joten siitä ei tarvitse poistaa ennustejaksoa edeltäviä päiviä. Edellytyksenä on kuitenkin, että ajo sisältää säännöstelyohjeen ensimmäisen päivä-

määrän ns. päätiedostossa (katso kohta 4.2). Toinen mahdollisuus on antaa säännöstelyohje ajon aikana ohjelmaan sisällytettyjen ohjeiden mukaan. Tällöin ohjelmaan kysytään tietyn altaan säännöstelyohjeen muutosta.

Ajon päätyttyä se voidaan aina uusida ja halutuille alueille voidaan antaa uudet säännöstelyohjeet, jotka pysyvät voimassa koko ajon ajan, jollei ko. altaan ohjetta muuteta.

Yhteenvedona vielä selvitys siitä, miten ohjelma käyttää annettua säännöstelyohjetta.

1. Ohjelma ehdottaa juoksutusarvoksi optimijuoksutusta.
2. Onko optimijuoksutus sopiva vedenkorkeusehtojen toteutumiseksi? Kahden taitepäivän välissä ohjeen maksimi- ja minimivedenkorkeudet muuttuvat tasaisesta edellisen taitepäivän arvosta alkaen kohti jälkimmäistä arvoa.
3. Toteutuvatko maksimi- ja minimijuoksutusehdot? Kahden taitepäivän välissä noudatetaan jälkimmäiselle päivälle annettuja juoksutusehtoja (max, min, opt.).
4. Toteutuvatko altaan absoluuttiset reunaehdot? Ne ovat altaan suurin mahdollinen vedenkorkeus ja pienin mahdollinen vedenkorkeus. Nämä ehdot on annettu suoraan ohjelman sisään.

Altaiden päivitys

Ohjelma kysyy myös ennen ajon alkamista altaiden vedenkorkeuden päivitysajankohdan eli sen päivämäärän, jolla mallin altaiden vedenkorkeudet asetetaan samaksi havaittujen arvojen kanssa. Ennustejaksossa tämä päivämäärä on luonnollisesti se, jolloin viimeiset altaidet havaitut vedenkorkeustiedot on annettu päätiedostoon (katso 5.2).

5.4 TULOSTUS

Mallin tulostusta voidaan helposti muunnella tarpeen mukaan. Nykyinen versio tulostaa vesistöalueen kaikkien säännöstelyaltaiden lasketut ja havaitut vedenkorkeudet sekä juoksutuksen jokaiselta päivältä ennustejaksossa. Samoin tulostuu joen laskettu ja ennustettu virtaama halutuissa ennustepisteissä. Ennustejaksolla havaittujen arvojen kohdalle tulostuu viimeinen havaittu arvo.

Ennustepaikat ovat eri vesistöalueilla seuraavat:

Kalajoki: Kiljanjärvi
Reis-Vuohtojärvi
Korpinen
Juurikka
Kuonanjärvi
Hautaperä
Settijärvi
Haapajärvi, Oksava
Pidisjärvi, Padinki
Niskakoski

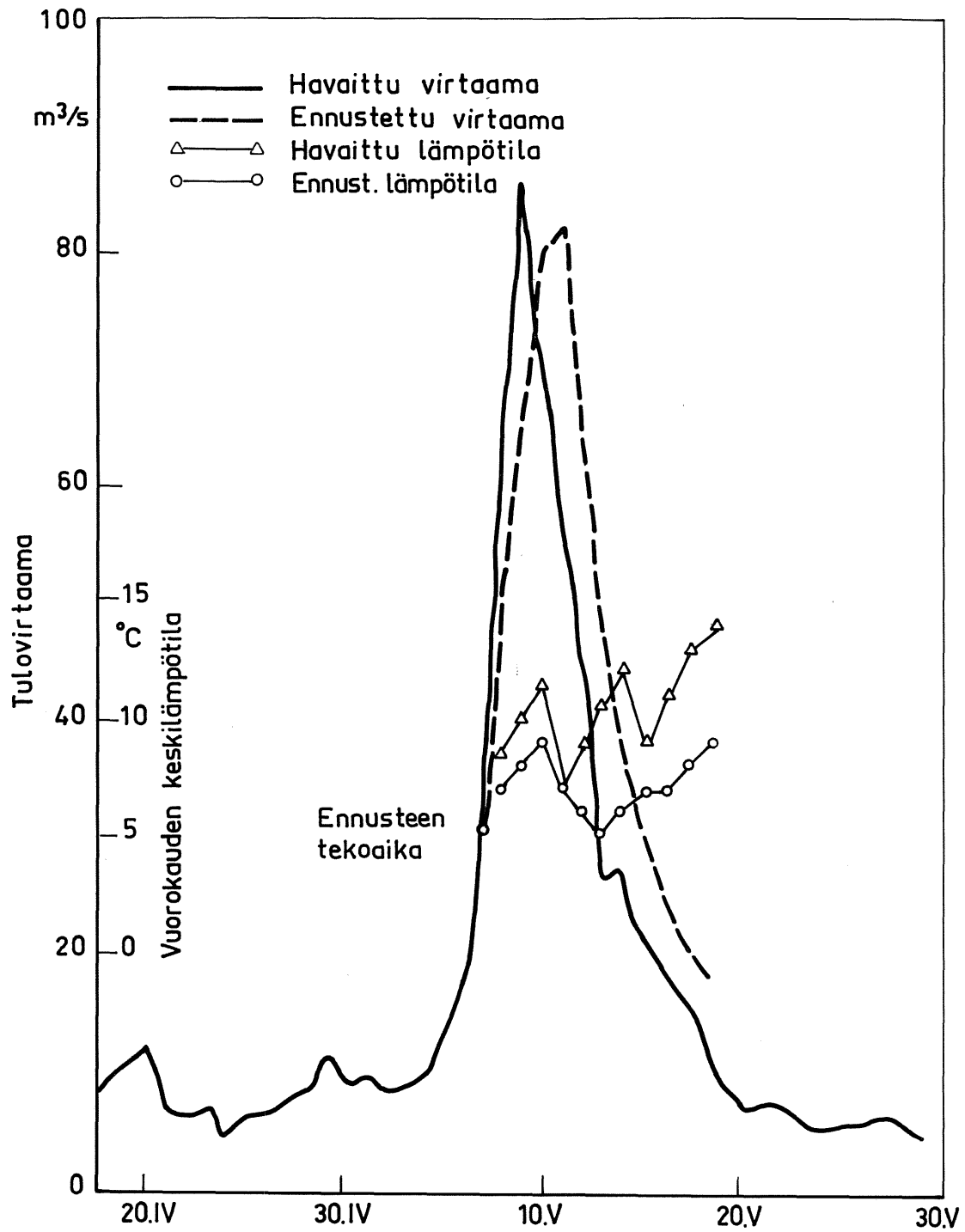
Ähtävänjoki: Alajärvi
Lappajärvi
Evijärvi

Lapuanjoki: Nurmonjoen pienet säännöstelyaltaat
Hirvijärven allas
Rantatöysänjoki
Kuortaneenjärvi
Tampparinkoski
Liinamaan tulva-alue
Pappilankari.

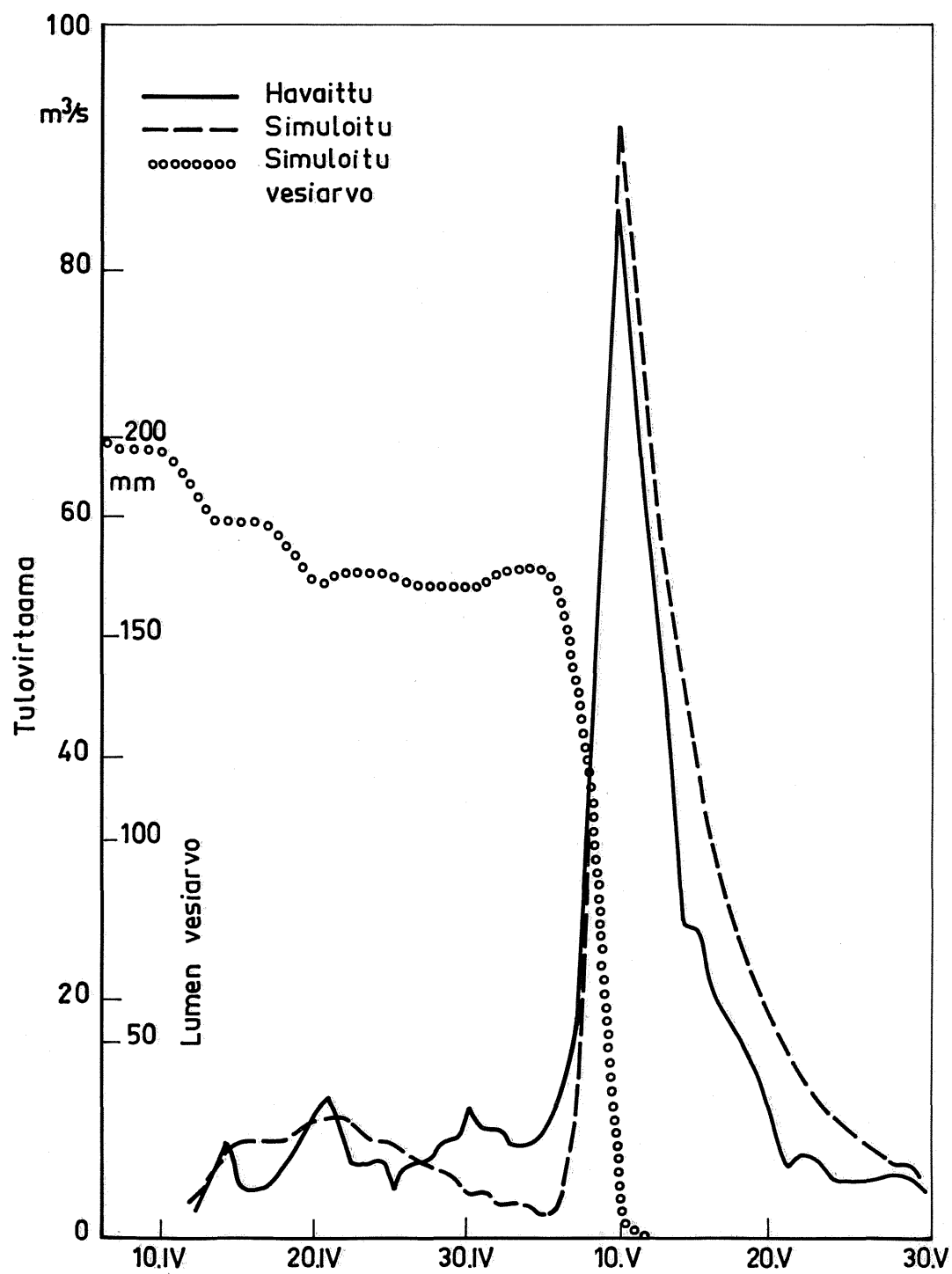
6. E S I M E R K K I K E V Ä Ä L T Ä 1981

Keväällä 1981 tässä esiteltyä valuntamallia käytettiin Kalajoella Hautaperän lähivaluma-alueen tulovirtaaman ennustamiseen. Lumen sulaminen alkoi jo huhtikuun alkupuolella, mutta varsinainen sulantahuippu ajoittui toukokuun ensimmäiselle puoliskolle. Kuvassa 5 on esitetty viimeinen ennen tulovirtaamahuippua tehty ennuste ja tämän ennusteen lähtötietona olleet 10 vuorokauden lämpötilaennuste. Lämpötilaennusteen arvot olivat liian alhaiset varsinkin jakson lopussa. Liian alhaiset lämpötilat ennusteen alkupuolvinä aiheuttivat tulovirtaamaennusteen huippuarvon pienen myöhästymisen. Ennusteen loppujakson lämpötiloissa ei ollut enää merkitystä, koska lumi oli jo sulanut. Kuvassa 6 on esitetty mallin simuloima tulovirtaama käyttämällä havaittuja lämpötila-arvoja.

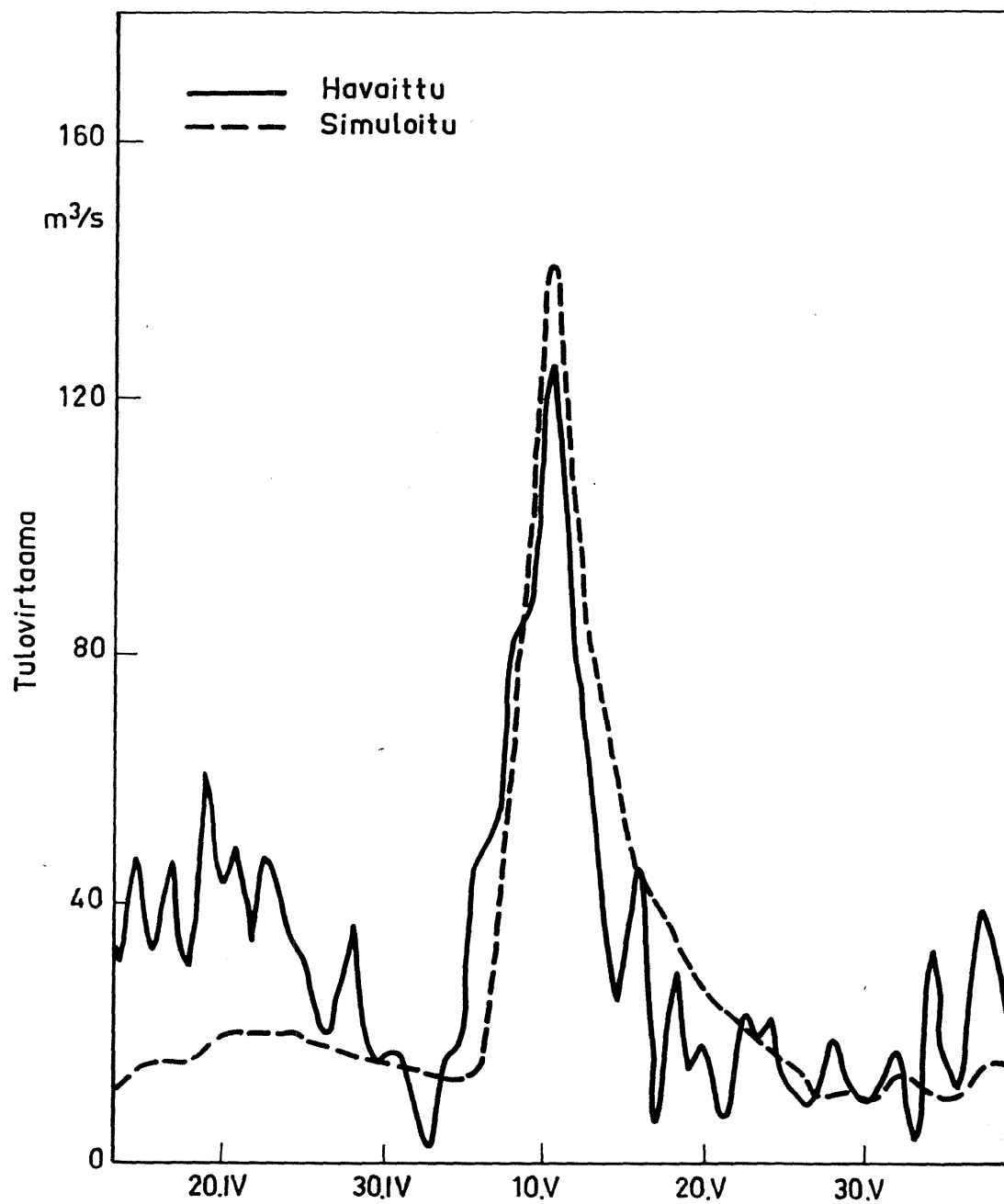
Keväästä 1981 ja varsinkin toukokuun sulantahuipusta on sanottava, että sen ennustaminen oli jokseenkin helppoa, koska lämpötilat nousivat kylmän jakson jälkeen hyvin nopeasti ja - mikä tärkeintä - sadatta ei tullut lainkaan ennustejaksolla. Tosin huhtikuun alun tulovirtaamat olivat mallin laskemina Kalajoella ja varsinkin Ähtävänjoen alueella (kuva 7) selvästi havaittuja arvoja pienempiä. Sulanta alkoi jo huhtikuun alussa. Huhtikuun loppupuolella vuorokauden keskilämpötilat laskivat lähelle nollaa ja allekin. Tästä huolimatta Kalajoella ja Ähtävänjoella



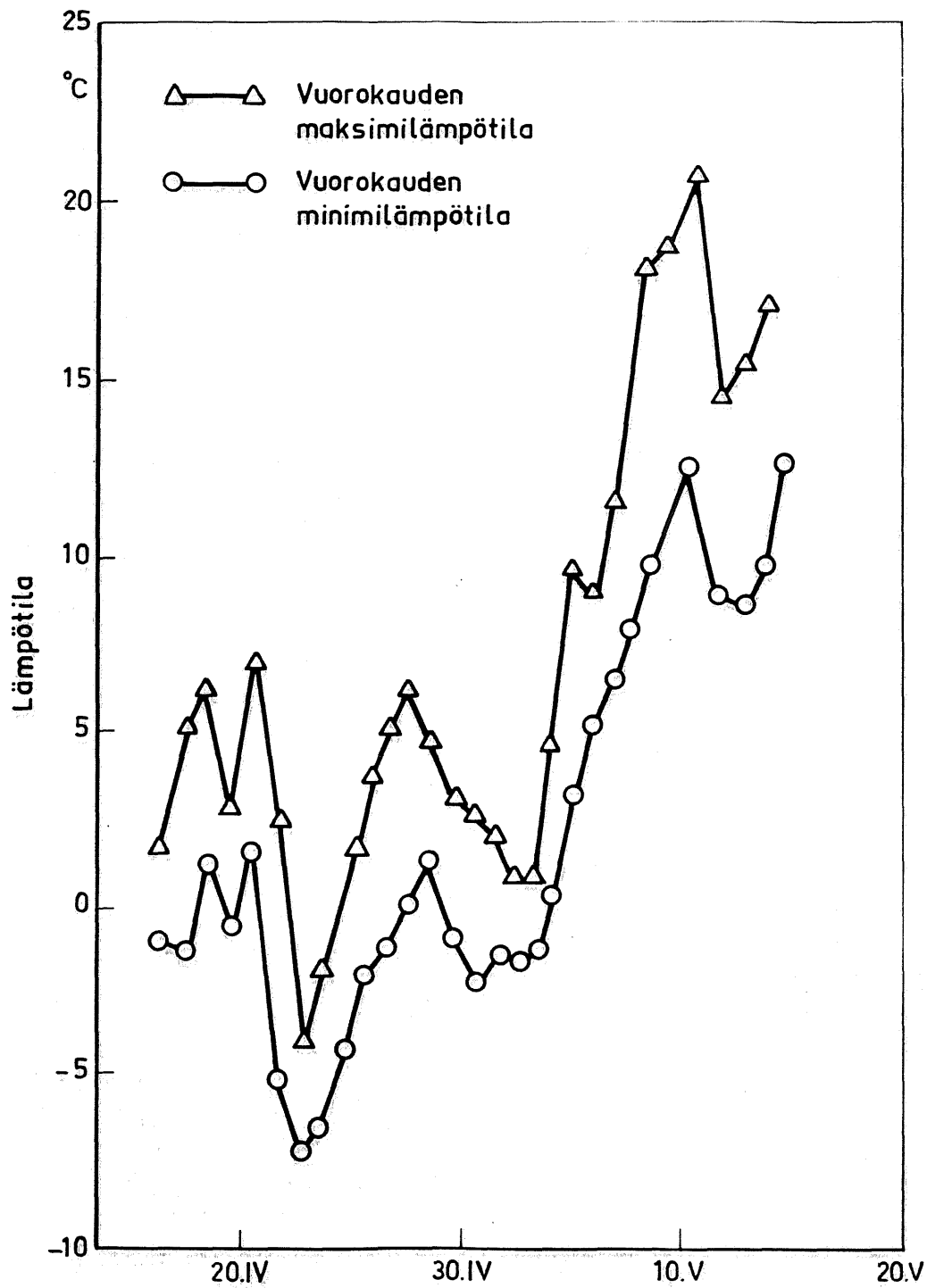
Kuva 5. Hautaperän tekojärven tulovirtaamaennuste keväällä 1981.



Kuva 6. Hautaperän tekojärven havaittu ja simuloitu tulovirtaama keväällä 1981.



Kuva 7a. Lappajärven lähivaluma-alueen simuloitu tulovirtaama keväällä 1981.



Kuva 7b. Lappajärven lähivaluma-alueen lämpötilatiedot keväällä 1981.

virtaamat pysyivät suurina. Koko huhtikuun aikana vuorokautinen lämpötilavaihtelu oli voimakasta. Päivällä lämpötila nousi useisiin lämpöasteisiin, mutta yöllä oli kylmää. Sulantaa on ilmeisesti tapahtunut runsaasti aurinkoisina keskipäivän tunteina. Mallin sulantaosa ei kuitenkaan ole pystynyt simuloimaan tätä sulantaa, koska mallissa sulanta on riippuvainen ainoastaan vuorokauden keskilämpötilasta.

Mahdollisuuksien mukaan sulantamallia kehitetään paremmaksi käyttämällä hyväksi hydrologian toimiston työn alla olevien lumitutkimusten tuloksia.

7. YHT EEN VETO KEV Ä Ä N 1982 E N N U S T E I S - T A J A K O K E M U K S I S T A

Kevään 1982 säätilaa luonnehtivat runsaat sateet huhtikuun 10. päivän aikaan ja huhti - toukokuun vaihteessa. Lisäksi huhtikuun loppupuolella oli kylmätkö jakso, jolloin vuorokauden keskilämpötila laski lähelle nollaa. Toukokuun alkupuolella 6 - 10 päivinä oli lämmin jakso.

Lapuanjoella virtaamien ja vedenkorkeuksien ennustaminen sujui hyvin aina toukokuun alkupäivien suuriin sateisiin asti (kuvat 8 - 10). Sateiden aikana ennusteet jäivät yleensä liian pieniksi. Syynä epäonnistumiseen olivat liian pienet sadantaennusteet ja toisaalta itse valuntamalli.

Eniten Lapuanjoen ennusteista oli konkreettista apua Hirvijärven yläpuolisten järvien säännöstelyssä. Ennusteet helpottivat säännöstelijän työtä, kun hän sai käyttöönsä arvion seuraavan viikon tulovirtaamista.

Ähtävänjoen Lappajärvellä ennusteet antoivat alussa liian pieniä vedenkorkeusarvoja loppukevääksi, koska huhti - toukokuun vaihteen suuret sateet eivät olleet ennakoita-vissa. Viimeiset Lappajärven ennusteet, joissa nämä sateet olivat mukana, onnistuivat jo paljon paremmin, kuva 12.

Kalajoen ennusteet menivät, Hautaperän allasta lukuunottamatta, muita huonommin (kuva 11). Vedenkorkeus- ja virtaamaennusteet jäivät liian pieniksi kautta linjan. Syynä epäonnistumiseen liian pienten sadantaennusteiden lisäksi lie-nevät mallin kannalta puutteelliset lumen vesi-arvo-, vedenkorkeus- ja virtaamahavainnot. Valuntamallin kalibroinnissa käytetty havaintoaineisto oli eräillä tärkeillä osalueilla puutteellista juuri kevään virtaamahuippujen osalta: Reis- ja Vuohojärven ja Settijärven padon suuret juoksutukset, Padingin suuret juoksutukset varsinkin ohi-juoksutusten aikaan sekä Pidisjärven vedenkorkeudet, jotka puuttuivat lähes koko kalibrointijaksolta.

Alueellisen lumen vesi-arvon määrittäminen on Kalajoella erityisen vaikeaa, koska alueella ei ole ainuttakaan luotettavaa

jokilaakson ulkopuolelle korkeimmille metsäalueille sijoittuvaa lumilinjaa. Suurin osa loppukevään tulvahuipun sulamisvesistä on lähtöisin juuri näiltä alueilta.

Uljuan tekoaltaan osalta ennusteet onnistuivat keväällä 1982 parhaiten, kuva 13. Syynä parempaan menestykseen eteläisempiin vesistöihin verrattuna lienevät seuraavat seikat:

- Valuntahuippu muodostui pääasiassa sulamisvesistä, koska lunta oli runsaasti maastossa huhti - toukokuun vaihteen suurten sateiden aikana ja sateet olivat muutenkin vähäisemmät. Näin sadantaennusteiden virheet jäivät vaikutuksiltaan pienemmiksi. Lisäksi vähäsateiset kevääät (erityisesti valuntahuipun aika) ovat yleensä ja myös mallin kalibrointijaksolla yleisempiä, jolloin malli toimii kokonaisuudessaan paremmin, kun valunta muodostuu pääasiassa sulannan eikä sadannan kautta.
- Toiseksi Uljuan altaan valuntamallin kalibrointiin käytetyt virtaama- ja vedenkorkeushavainnot ovat normaalia paremmat ja alue sinänsä selväpiirteinen ja helppo "mallittaa": yksi keskusallas ja sen yläpuolelle pelkkä valuma-alue. Tyypillistä suurten vesistöalueiden osalta on, että vesistön yläosiin jää alueita, joilla on jonkin asteista säännöstelyä, mutta siitä ei ole kuitenkaan riittävän hyviä havaintoja. Näissä tapauksissa alueen valuntamallin laatiminen vaikeutuu ja lopputulos ei ole paras mahdollinen.

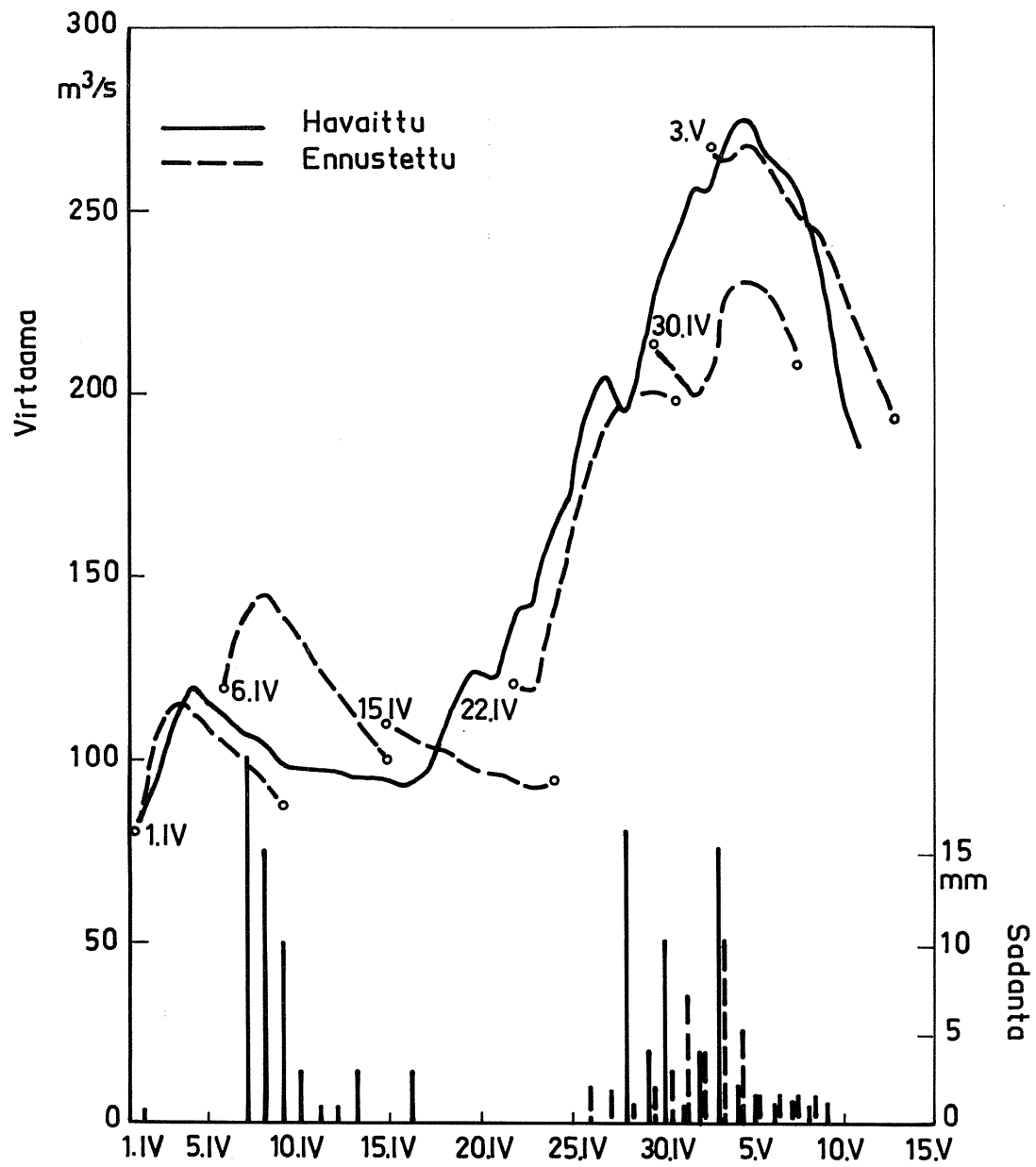
8. VALUNTAMALLIN PARANTAMINEN

Koska valuntamallia käytetään pääasiassa kevättulvan enustamiseen, on lumen sulamista simuloiva sulantamalli valuntamallin tärkein osa. Sulantamallin edelleen kehittäminen tarjoaa ehkä parhaat mahdollisuudet tulvaennusteiden parantamiseen. Tässä työssä tulee kiinnittää huomiota erityisesti seuraaviin seikkoihin:

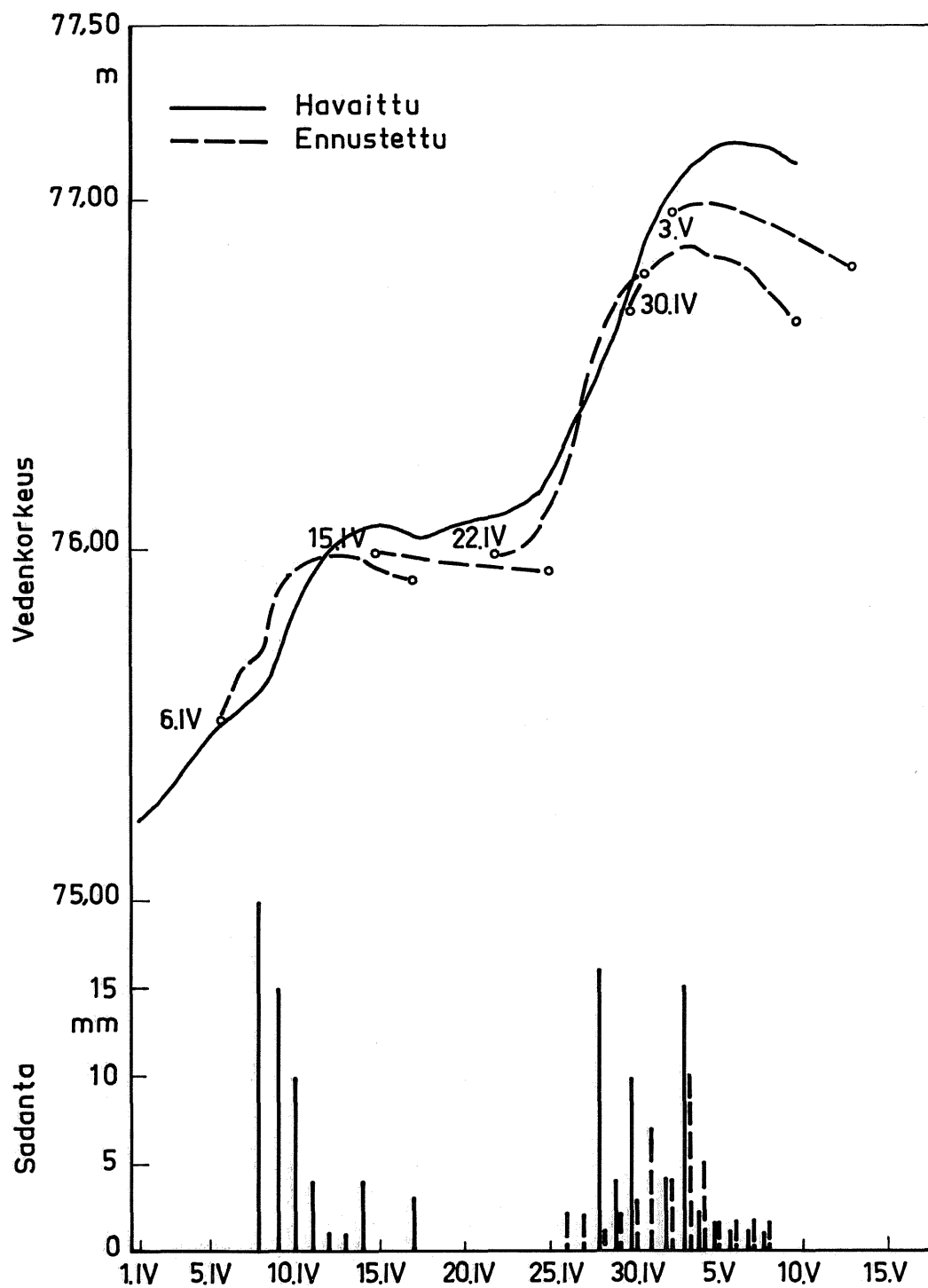
- Sulantamallissa on nykyistä paremmin otettava huomioon pellon ja metsän lumen sulamisen ero. Lumet sulavat aukeilta pelloilta nopeammin kuin metsästä.
- Sulannan indeksinä on kokeiltava myös vuorokauden maksimi- ja minimilämpötiloja vuorokauden keskilämpötilan lisäksi.

Valuntamallit kalibroidaan kevään 1982 havaintoihin, jotta nähdään millaisin muutoksin malli saadaan toimimaan paremmin kevään -82 runsassateisena jaksona.

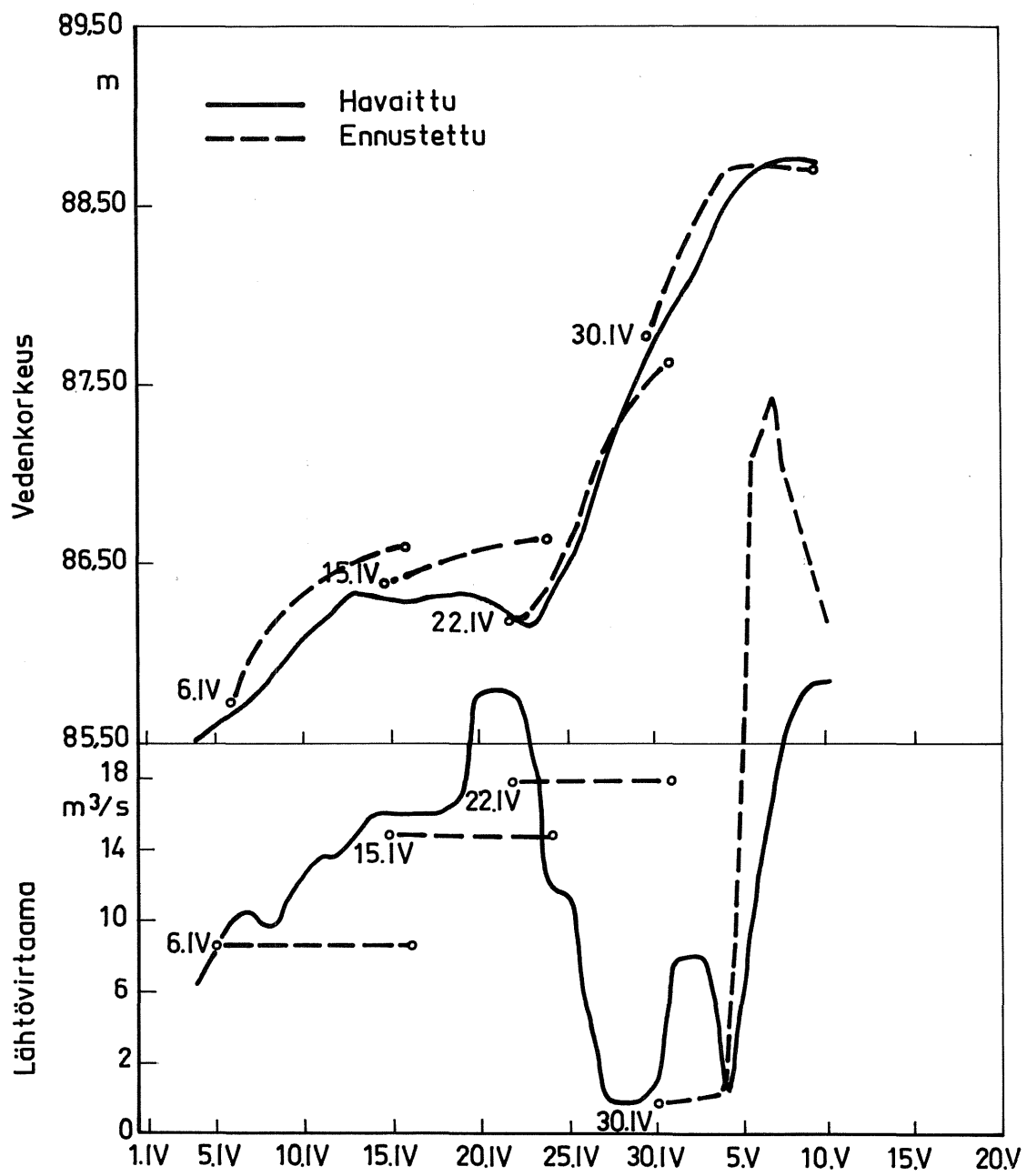
Vesistöjen puutteellisesti havainnoitujen osa-alueiden valuntamallit kalibroidaan uudestaan, kun tarkemmat havainnot ovat käytettävissä. Kyseeseen tulevat ainakin seuraavat alueet: Kauhavanjoki, Töysänjoki, Alajärvi, Malisjoki, Reis-Vuohtojärvi ja Settijärvi. Kun vesistön valuntamalli



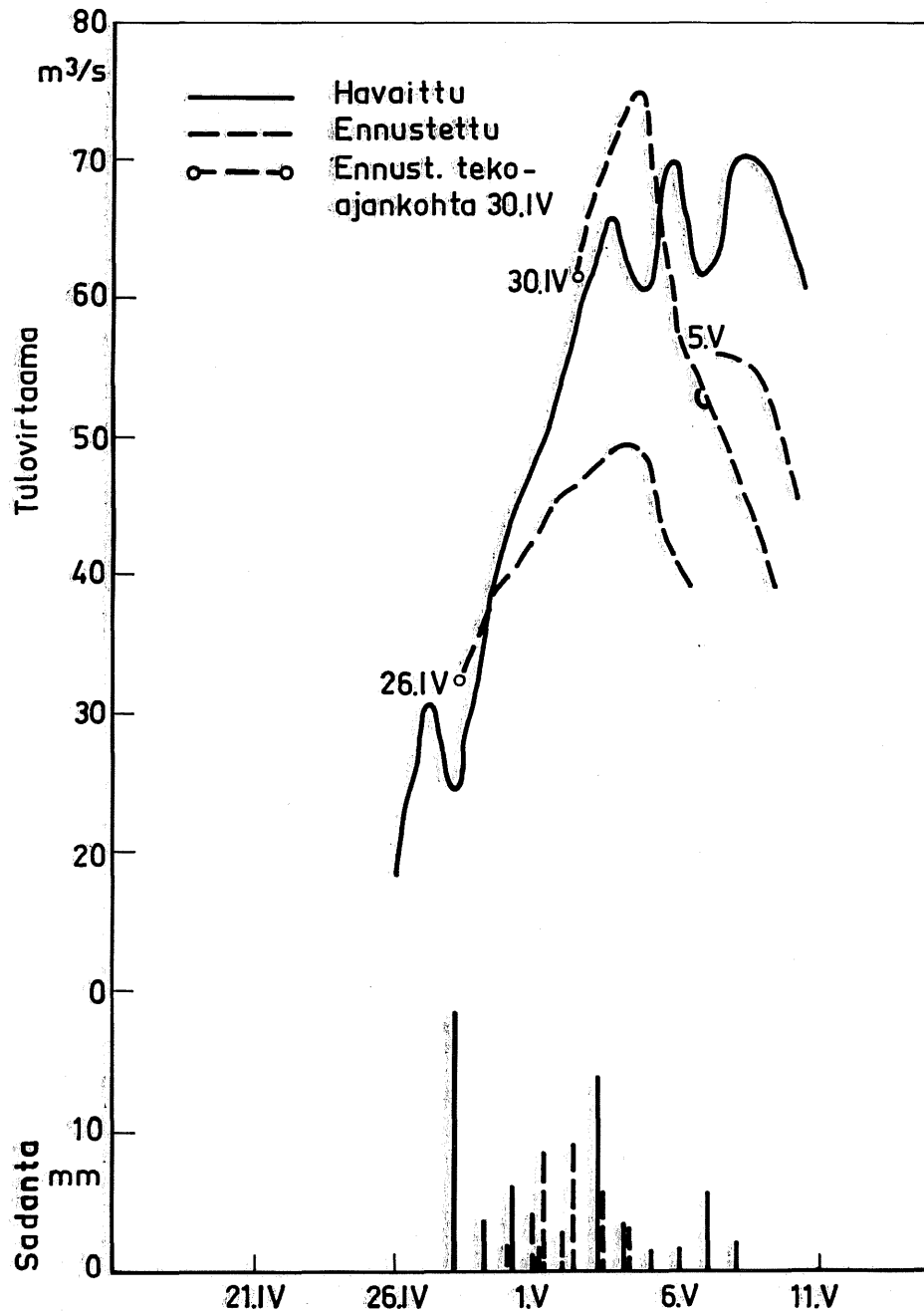
Kuva 8. Lapuanjoen Pappilankarin virtaamaennusteet
keväällä 1982.



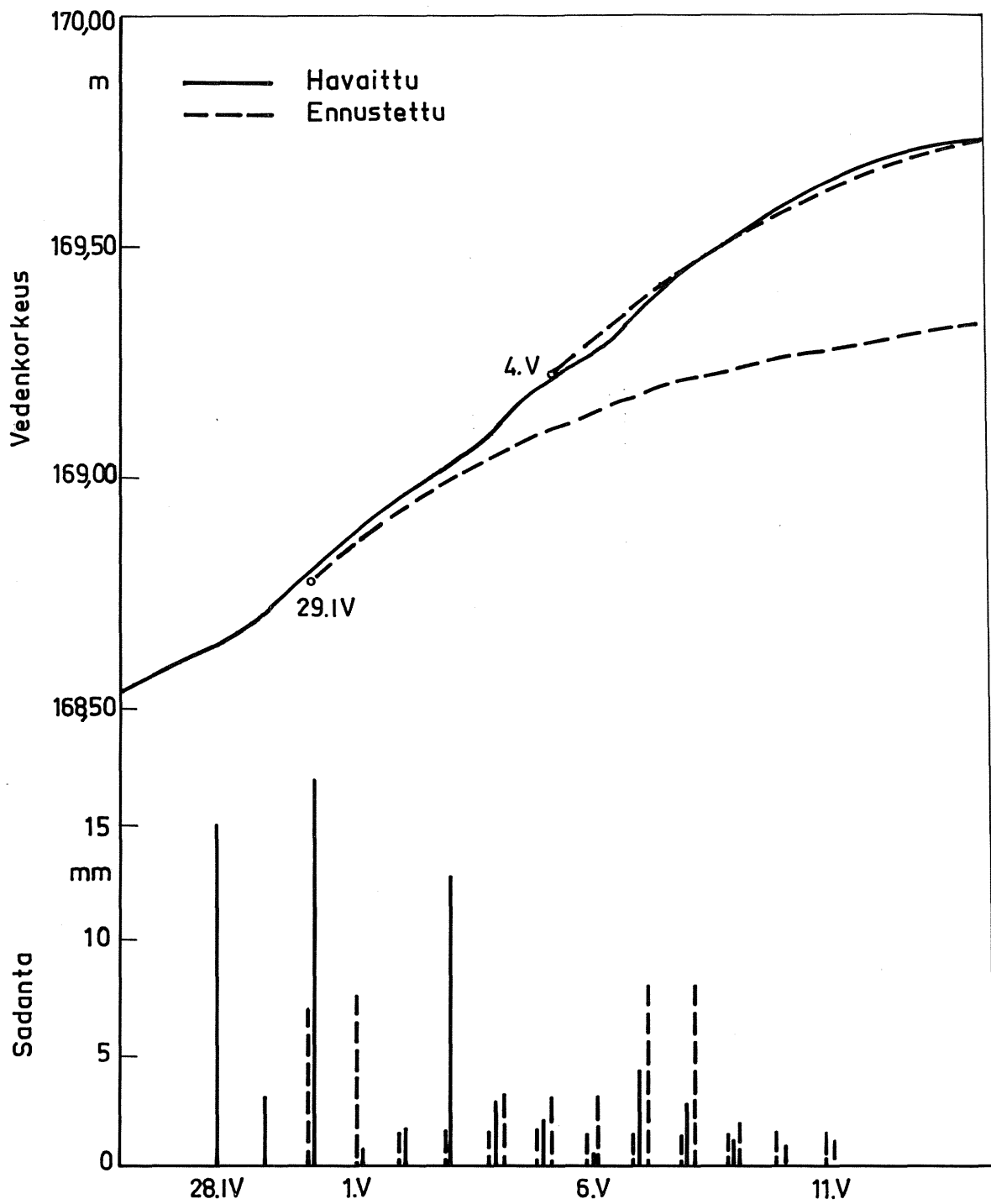
Kuva 9. Kuortaneenjärven vedenkorkeusennusteet
keväällä 1982.



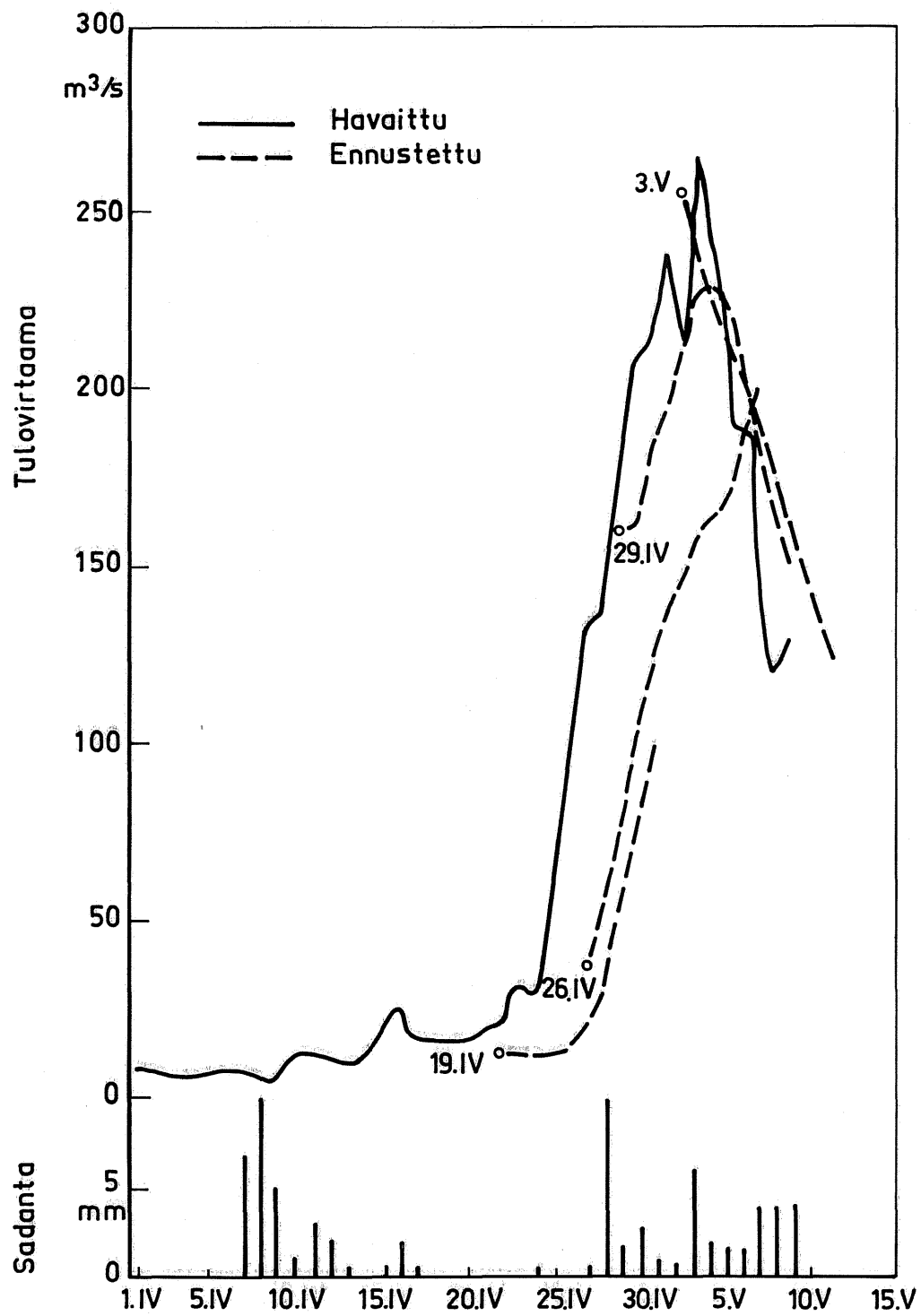
Kuva 10. Hirvijärven tekojärven vedenkorkeus- ja lähtövirtaamaennusteet keväällä 1982.



Kuva 11. Hautaperän tulovirtaamaennusteet
keväällä 1982.



Kuva 12. Lappajärven vedenkorkeusennusteet
keväällä 1982.



Kuva 13. Uljuan tekojärven tulovirtaamaennusteet
keväällä 1982.

kootaan osa-alueita käsittävistä valuntamalleista, tulee vesistön osien erilaisuus paremmin otetuksi huomioon verrattuna koko vesistön simulointiin yhdellä mallilla: alajuoksun ja jokilaaksojen aukeat peltoalueet - yläjuoksun korkeammalla sijaitsevat metsäiset alueet.

Virtaama- ja vedenkorkeusennusteille saadaan todennäköisyysrajat käyttämällä ennusteen lähtötietoina eri todennäköisyyksillä toistuvia sadanta- ja lämpötila-arvoja.

Ennustettaessa paljon aikaa vievän havaintojen keräilyyn helpottamiseksi tulee eri havaintoasemien kanssa sopia havaintojen nopeasta toimittamisesta valuntaennusteiden tekijälle. Ilmatieteen laitoksen säänhavaintoasemien kanssa on sovittava ainakin viikkoraporttien toimittamisesta.

K I R J A L L I S U U S:

Bergström, S. 1975. The development of a snow Routine for the HBV-2 model. Nordic Hydrology vol. 6, no 2.

Lemmelä, R. 1970. Lumen sulamisesta, sulamisesta aiheutuvasta valunnasta sekä pohjaveden muodostumisesta hiekka-peräisellä alueella. Lisensiaattitutkielma, Helsingin Yliopisto.

Solantie, R. 1976. Suomen vesitaseen laskeminen kaudelle 1931 - 1960. Lisensiaattitutkielma, Helsingin Yliopisto.

LIITE: Esimerkki ennusteaajosta
Lapuanjoki 5.5.1982.

Ennen varsinaista ajoa sääennuste, viimeiset sää-, virtaama- ja vedenkorkeushavainnot on lisätty omiin tiedostoihinsa. Samoin mahdolliset säännöstelyrajojen muutokset tehdään, jos tarpeen. Sääennuste ja säännöstelyrajat voidaan antaa myös ajon aikana.

Ennusteaajo alkaa käskyllä RUN ja ohjelman nimi, joka tässä on LAPUANJ9. Kohdat joissa ohjelman käyttäjä antaa ohjeita päätteeltä on alleviivattu tai ympyröity.

Tiedosto Lapua82B.DAT sisältää havaitut sää-, vedenkorkeus- ja virtaamatiedot.

Sääennuste voidaan tarkistaa ja uusia.

Altaiden päivityksessä altaat asetetaan todelliseen vedenkorkeuteen ko. päivänä.

Ohjelmasta saadaan ulos valinnan mukaan myös allaskohtaiset tulovirtaamat ja eri osa-alueiden lumen vesi-arvot.

WT = todellinen vedenkorkeus (= - 1 ellei havaintoa)
WL = laskettu vedenkorkeus

QT = todellinen virtaama
QL = laskettu virtaama tai ennustejaksoksi annettu juoksutus (säännösteltyt altaat)

QLAPUA = Lapuanjoen laskettu virtaama Lapuan kohdalla
QPENGYLA = virtaama pengerrysalueen yläreunassa
QKAUHA = Kauhajoen laskettu virtaama
KURUNO, TUOMIS, LOYHIN, RUHANS, HAAPOJ, AMPPI ovat Lapuanjoen suoja-pengerryksen tulvakynnyksiä

QKYN = kynnyksen yli menevä virtaama

VITA, VLOY, VHAA, VAMP ovat suoja-pengerryksen takana mahdollisesti olevan tulva-alueen tilavuuksia (milj. m³)

QIHIRV, QIKURT, QITAMP, QIPAPP ovat Hirvijärven, Kuortaneen, Tampparinkosken ja Pappilankarin osa-alueilta tulevat lasketut tulovirtaamat (m³/s)

ORKUOR, ORHIRV, ORTAMP, ORPAPP ovat vastaavien alueiden lasketut valunnat mm/vrk

QIT = todellinen tulovirtaama, ei päde ennustejaksolla
QIL = laskettu tulovirtaama, ei päde altaiden päivityksen päivänä

TARKISTATKO ENNUSTEEN? KYLLA=1,EI=2 :

82.	5.	7.	0.5	5.0	0.2
82.	5.	8.	2.0	5.0	0.2
82.	5.	9.	6.0	5.0	0.2
82.	5.	10.	6.0	6.0	0.2
82.	5.	11.	1.0	6.0	0.2
82.	5.	12.	1.0	6.0	0.2
82.	5.	13.	0.0	6.0	0.2
82.	5.	14.	1.0	6.0	0.5
82.	5.	15.	0.5	6.0	0.5
82.	5.	16.	0.0	6.0	0.5
0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0
0.	0.	0.	0.0	0.0	0.0

ANNATKO UUDEN ENNUSTEEN? KYLLA=1,EI=2 :

ALTAIDEN PAIVITYS;ANNA PVM ESIM. 810505. :

820505

TULOSTUS ALKAEN <0000000> :820505

ALTAIDEN TULOVIRTAAMAT ?; KYLLA=1, EI=2 :1

2 MUUTATKO JUOKSUTUSOHJEITA KYLLA=1,EI=2

HALUATKO TIEDOT LUMEN VESIARVOISTA? KYLLA=1,EI=2 :

```

82 5 5 ALLASJ WT=116.17 WL=116.15 @INJAAS= 2.7 @INKUOT= 3.6
      JAASKA WT=104.28 WL=104.30 @L= 4.7 KUOTES WT=113.08 WL=113.16 @L= 3.0
      KUORAS WT=106.14 WL=106.16 @L= 4.5 VARPUL WT= 91.78 WL= 91.88 @L= 0.0
      HIRVIJ WT= 88.65 WL= 88.79 @L= 5.4

```

KATKAJ WT=149.50 WL=149.44 QL= 5.0 RANTAT WT=107.07 WL=107.16 QL= 23.7
KUORTA WT= 77.15 WL= 77.15 QL= 87.8

TAMPPA QT= -1. QL=117. QLAPUA=146. QPENGYLA=150.

```
KURUNO @L=150. @KYN= 0. VITA= 0.0    TUOMIS @L=150. @KYN= 0. VITA= 0.0
LOYHIN @L=157. @KYN= 0. VLOY= 0.0    RUHANS @L=160. @KYN= 0. VITA= 0.0
@KAUHA= 67. @KAUHA+@RUHA=227.
HAAPJO @L=228. @KYN= 0. VHAA= 0.0    AMPPI @L=222. @KYN= 6. VAMP= 4.5
@OUT LIINAM=238. VOL LIINAM= 4.2
PAPPILANKARI @T=278. @L=253.
```

QIHIRV= 43.1 QIKURT= 95.2 QITAMP=124.4 QIPAPP=138.9

```

ORKUOR= 5.46 ORHIRV= 6.36 ORTAMP= 6.51 ORPAPP= 8.71
82 5 5 ALLASJ @IT=88.43 @IL= 6.30 KUOTES @IT=45.86 @IL=-0.60
KUORAS @IT=***** @IL= 1.50 JAASKA @IT=84.80 @IL= 2.00
VARPUL @IT=***** @IL= 0.00 HIRVIJ @IT=***** @IL=-4.10
HIRVIJARVEN YLAPUOLI @IT=***** @IL= 5.10

```

KATKAN QIT=95.45 QIL= 5.00 RANTAT QIL= 16.00
KUORTANE QIL= 75.09
TAMPPARI QIL=29.23 QILTOT=125.31
PAPPILANK. QIT=273.60 QIL=138.92 QILTOT=269.33

```

8:2 5 6 ALLASJ WT= -1.00 WL=116.14 @INJAAS= 2.7 @INKUOT= 3.6
      JASASJ WT= -1.00 WL=104.29 @L= 4.7 KUOTES WT= -1.00 WL=113.15 @L= 3.0
      KUORAS WT= -1.00 WL=106.15 @L= 4.5 VARPUL WT= -1.00 WL= 91.86 @L= 0.0
      HIPVIJ WT= 88.70 WL= 88.78 @L= 12.0

```

KATEAU WT= -1.00 WL=149.43 QL= 5.0 RANTAT WT=107.06 WL=107.16 QL= 20.1
 KUORTA WT= 77.17 WL= 77.17 QL= 85.0

TAMPPA QT= -1. QL=112. Q LAPUA=146. Q PENGYLA=149.

```
KURUNO @L=149. @KYN= 0. VITA= 0.0    TUOMIS @L=149. @KYN= 0. VITA= 0.0
LOYHIN @L=156. @KYN= 0. VLOY= 0.0    RUHAN @L=158. @KYN= 0. VITA= 0.0
@KAUHA= 61. @KAUHA+@RUHA=219.
HAAPOJ @L=220. @KYN= 0. VHAA= 0.0    AMPPI @L=221. @KYN= -1. VAMP= 4.5
@OUT LIINAM=239. VOL LIINAM= 4.3
PAPPILANKARI @T=265. @L=253.
```

QIHIRV= 38.0 QIKURT= 88.4 QITAMP=115.5 QIPAPP=125.3

ORKUOR= 4.88 ORHIRV= 5.37 ORTAMP= 6.04 ORPAPP= 7.86
82 5 6 ALLASJ QIT=88.43 QIL= 4.84 KUOTES QIT=45.86 QIL= 1.95
KUORAS QIT=***** QIL= 3.65 JAASKA QIT=84.80 QIL= 2.48
VARPUL QIT=***** QIL= 4.16 HIRVIJ QIT=***** QIL=18.74
HIRVIJARVEN YLAPUOLI QIT=***** QIL= 35.83

KATKAN @IT=95.45 @IL= 2.69 RANTAT @IL= 14.80
KUORTANE @IL= 69.27
TAMPPARI @IL=27.13 @ILTOT=113.88
PAPPILANK. @IT=254.00 @IL=125.32 @ILTOT=275.03

82 5 7 ALLASJ WT= -1.00 WL=116 12 @INLAGE= 4.4 @INPLOT= 4.4

